



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

---

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS  
DE LAS UNIDADES DE ADOBE MEJORADO CON MATERIAL CALCAREO  
AL 15%, 20% Y 25% FRENTE A LAS UNIDADES DE ADOBE ELABORADAS  
EN EL DISTRITO DE SAN JERONIMO CON PROCEDIMIENTOS  
TRADICIONALES.

---

Presentado por los tesisistas:

Pozo Zanabria, Yamandu Willy

Diaz Flores, Alexis David

Para optar al título profesional de Ingeniero  
Civil

Asesor:

Ing. Heiner Soto Florez

CUSCO-PERÚ

2019



### Dedicatoria

A Dios Todopoderoso porque con El todo es posible.

A la memoria de mi abuela materna profesora Claudia Campos Ramirez, quien en vida fue una madre para mí, ejemplo de valores, buenas costumbres, perseverancia y tenacidad; hoy en día luz de vida que ilumina mi camino presente en todo momento, cuyo hermoso recuerdo perdura en mi corazón y mente como tesoro invaluable, por eso y muchas cosas más, porque si las escribiera no me alcanzarían las palabras. Gracias madre mía.

Yamandu Willy



### Dedicatoria

Dedico esta tesis con mi mayor estima:

A mis padres por su apoyo, comprensión y ánimo que me brindaron durante la realización de este trabajo, ya que además me enseñaron que el trabajo y el sacrificio son las herramientas que necesito para cumplir mis metas y sueños.

Para finalizar a todas las personas que me alentaron y ayudaron durante mi crecimiento personal, en especial a esas que me demostraron su amistad y cariño sincero durante mi niñez.

Alexis David



**Agradecimiento**

A Dios Todopoderoso que fue quien nos dio el sendero para el recorrido de nuestra vida.

A nuestros padres por brindarnos la educación, un hogar y sobretodo amor incondicional.

Finalmente, a nuestro asesor Mg. Ing. Heiner Soto Florez y nuestros docentes universitarios por su guía y sabios consejos durante nuestra formación académica.

Yamandu Willy y Alexis David



## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 15%, 20% y 25% y su comparación con las unidades de adobe preparadas de forma tradicional en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco.

Cabe mencionar, que se hicieron ensayos de control que permitieron determinar las características de los materiales utilizados para lo cual la investigación se basó en las siguientes pruebas y ensayos: prueba de la botella, ensayo de granulometría, ensayos para los límites de Atterberg y prueba del disco.

Para la determinación de las características físico-mecánicas se hicieron los siguientes ensayos: ensayo de variación dimensional, ensayo de succión, ensayo de alabeo, ensayo erosión acelerada Swinburn (SAET), ensayo de resistencia a la compresión de unidades y ensayo de resistencia a la compresión de pilas.

Además de ellos, los elementos evaluados tuvieron las siguientes características: Unidades de adobe de 32 cm x 16 cm x 8 cm, las unidades de adobe fueron fabricadas con material de la zona de San Jerónimo, las unidades de adobe son elaboradas de una misma cantera y de un mismo fabricante.

En conclusión, las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 15% fueron las que obtuvieron las mejores características físico-mecánicas, seguidas de las unidades mejoradas al 20%, posterior a estas se ubicaron las unidades tradicionales y por ultimo las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 25% que obtuvieron características inferiores que las unidades de adobe tradicional.

### **Palabras Clave**

Unidades de adobe tradicional.

Unidades de adobe mejoradas con material calcáreo.

Propiedades físicas.

Propiedades mecánicas.



### Abstract

The main objective of this work is to evaluate the mechanical properties of the adobe units stabilized with calcareous material at 15%, 20% and 25% and their comparison with the adobe units prepared in a traditional way in the district of San Jerónimo.

It should be mentioned that control tests were carried out to determine the characteristics of the materials used for which the investigation was based on the following tests and tests: Bottle test, granulometry test, tests for the Atterberg limits, test of the disk.

For the determination of the physico-mechanical characteristics, the following tests were carried out: Dimensional Variation Test, Suction test, Warping test, Swimburn Accelerated Erosion Test (SAET), unit compression resistance test, resistance test compression of batteries.

In addition to them, the evaluated elements had the following characteristics: Adobe units of 32 cm x 16 cm x 8 cm, the units of adobe were made with material from the San Jeronimo area, the adobe units are elaborated from the same quarry and from the same manufacturer.

In conclusion, the improved adobe units with limestone material at 15% were the ones that obtained the best physical-mechanical characteristics, followed by the improved units at 20%, after these the traditional units were located and finally the improved adobe units with calcareous material at 25% that obtained inferior characteristics than the traditional adobe units.

### **Keywords**

Traditional adobe units.

Improved adobe units with calcareous material.

Physical properties.

Mechanical properties.



## Introducción

El día sábado 27 de setiembre de 2014 a las 21:35 (Hora local), ocurrió un sismo de magnitud 5.1 ML (escala de Richter), con epicentro a 7 km al suroeste de Paruro y una profundidad de 6 Km.

El movimiento sísmico causó daños importantes en las localidades de Misca, Mollejato, Cusi bamba Bajo, Moyoc y en menor intensidad en las localidades aledañas al distrito de Paruro, provincia de Paruro.

Con este antecedente, se hace inevitable plantear nuevos procedimientos, así como nuevos aditivos, que ayuden a mejorar las características de las unidades de adobe tradicional que forman parte de muchas viviendas y edificaciones de nuestro ámbito regional. Es por lo cual la interrogante que se resolvió en la presente investigación fue la variación de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe mejorado con material calcáreo en porcentajes establecidos de 15%, 20% y 25%.

Por lo cual se informa y presenta a la población del departamento del Cusco, a través de esta investigación las características de las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo.



Índice general

**Dedicatoria** ..... 1

**Dedicatoria** ..... 2

**Agradecimiento** ..... 3

**Resumen** ..... 4

**Abstract** ..... 5

**Introducción** ..... 6

**Índice general** ..... 7

**Índice de figuras** ..... 12

**Índice de tablas** ..... 19

**1. Capítulo I: Planteamiento del problema** ..... 22

1.1 Identificación del problema ..... 22

1.1.1 Descripción del problema ..... 22

1.1.2 Formulación interrogativa del problema ..... 23

1.2 Justificación e importancia de la investigación ..... 24

1.2.1 Justificación técnica ..... 24

1.2.2 Justificación social ..... 24

1.2.3 Justificación por viabilidad ..... 24

1.2.4 Justificación por relevancia ..... 25

1.3 Limitaciones de la investigación ..... 25

1.4 Objetivo de la investigación ..... 26

1.4.1 Objetivo general ..... 26

1.4.2 Objetivos específicos ..... 26

**2. Capítulo II: Marco teórico de la tesis** ..... 27

2.1 Antecedentes de la tesis ..... 27

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional ..... 27

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional ..... 29

2.2 Aspectos teóricos pertinentes ..... 30

2.2.1 Adobe ..... 30

2.2.2 Adobe estabilizado ..... 30

2.2.3 Cal ..... 30

2.2.3.1 Ciclo de la cal ..... 30





2.2.3.2. Composición genérica de los tipos de cal.....	32
2.2.4. Cal utilizada en la presente investigación.....	35
2.2.5. Materiales para edificaciones de adobe .....	36
2.2.5.1. Suelos .....	36
2.2.5.2. Paja .....	37
2.2.6. Selección de tierras.....	38
2.2.6.1. Suelos apropiados.....	38
2.2.6.2. Pruebas de selección.....	39
2.2.6.3. Límites de Atterberg.....	41
2.2.6.4. Estabilización de suelos .....	42
2.2.6.5. Granulometría .....	43
2.2.7. Fabricación del adobe.....	43
2.2.7.1. Dimensionamiento del adobe.....	43
2.2.7.2. Preparación del barro.....	44
2.2.7.3. Mezclado.....	44
2.2.7.4. Moldeo.....	46
2.2.7.5. Secado y almacenamiento.....	47
2.2.7.6. Control de calidad .....	48
2.2.8. Propiedades físicas de las unidades de adobe .....	49
2.2.8.1. Alabeo.....	49
2.2.8.2. Variación dimensional.....	50
2.2.8.3. Succión .....	51
2.2.8.4. Resistencia al desgaste por acción de lluvias.....	51
2.2.9. Pruebas de laboratorio .....	51
2.2.9.1. Ensayo de alabeo.....	51
2.2.9.2. Ensayo de variabilidad dimensional.....	52
2.2.9.3. Prueba de succión.....	53
2.2.9.4. Ensayo de erosión acelerada de Swinburne (SAET).....	54
2.2.10. Propiedades mecánicas de las unidades de adobe .....	54
2.2.10.1. Resistencia a la compresión de la unidad .....	54
2.2.11. Pruebas de laboratorio .....	55
2.2.11.1. Ensayo de resistencia a la compresión .....	55
2.2.11.2. Resistencia a la compresión de la albañilería .....	55



2.3	Hipótesis.....	57
2.3.1	Hipótesis general.....	57
2.3.2	Sub hipótesis .....	57
2.4	Definición de variables .....	57
2.4.1	Variables independientes .....	57
2.4.2	Variables dependientes .....	58
2.4.3	Cuadro de operacionalización de variables .....	59
<b>3.</b>	<b>Capítulo III: Metodología .....</b>	<b>60</b>
3.1.	Metodología de la investigación .....	60
3.1.1.	Tipo de investigación .....	60
3.1.2.	Nivel de la investigación .....	60
3.1.3.	Método de la investigación .....	60
3.2.	Diseño de la investigación .....	60
3.2.1.	Diseño metodológico.....	60
3.2.2.	Diseño de ingeniería.....	61
3.3.	Población y muestra .....	62
3.3.1.	Población .....	62
3.3.1.1.	Descripción de la población.....	62
3.3.1.2.	Cuantificación de la población.....	62
3.3.2.	Muestra .....	62
3.3.2.1.	Descripción de la muestra.....	62
3.3.2.2.	Cuantificación de la muestra.....	62
3.3.2.3.	Método de muestreo .....	63
3.3.2.4.	Criterios de evaluación de la muestra.....	63
3.3.3.	Criterios de inclusión.....	64
3.4.	Instrumentos.....	65
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos .....	65
3.4.2.	Instrumentos y equipos de laboratorio .....	70
3.5.	Procedimiento de recolección de datos .....	71
3.5.1.	Fabricación de las unidades de adobe .....	71
3.5.1.1.	Adobe tradicional .....	71
3.5.1.2.	Adobe mejorado con material calcáreo .....	72
3.5.2.	Fabricación de las pilas de adobe.....	76



- 3.5.2.1. Adobe tradicional y adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25% .....76
- 3.5.3. Ensayos de conformidad..... 77
  - 3.5.3.1. Granulometría (prueba de la botella)..... 77
  - 3.5.3.2. Cinta de barro..... 79
  - 3.5.3.3. Presencia de arcilla o resistencia seca ..... 80
- 3.5.4. Ensayos de laboratorio ..... 81
  - 3.5.4.1. Muestreo del suelo ..... 81
  - 3.5.4.2. Límites de Atterberg..... 83
  - 3.5.4.3. Ensayo de granulometría ..... 88
  - 3.5.4.4. Ensayo de alabeo..... 89
  - 3.5.4.5. Ensayo de variabilidad dimensional..... 93
  - 3.5.4.6. Ensayo de succión ..... 99
  - 3.5.4.7. Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) ..... 105
  - 3.5.4.8. Ensayo de compresión de unidades..... 111
  - 3.5.4.9. Ensayo de compresión de pilas ..... 115
- 3.6. Procedimiento de análisis de datos..... 119
  - 3.6.1. Fabricación de las unidades de adobe ..... 119
    - 3.6.1.1. Adobe tradicional ..... 119
    - 3.6.1.2. Adobe mejorado con material calcáreo ..... 120
  - 3.6.2. Ensayos de laboratorio ..... 122
    - 3.6.2.1. Muestreo ..... 122
    - 3.6.2.2. Ensayo de límites de Atterberg (limite líquido y limite plástico) ..... 122
    - 3.6.2.3. Ensayo de granulometría ..... 124
    - 3.6.2.4. Ensayo de alabeo..... 127
    - 3.6.2.5. Ensayo de variabilidad dimensional..... 131
    - 3.6.2.6. Ensayo de succión ..... 137
    - 3.6.2.7. Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) ..... 143
    - 3.6.2.8. Ensayo de resistencia a la compresión de unidades ..... 149
    - 3.6.2.9. Ensayo de compresión de pilas ..... 154
- 4. Capítulo IV: Resultados ..... 158**
  - 4.1. Fabricación del adobe..... 158
    - 4.1.1. Adobe tradicional ..... 158
    - 4.1.2. Adobe mejorado con material calcáreo ..... 158



4.2.	Ensayos de laboratorio .....	159
4.2.1.	Muestreo .....	159
4.2.2.	Ensayo de límites de Atterberg .....	159
4.2.3.	Ensayo de granulometría .....	160
4.2.4.	Ensayo de alabeo.....	160
4.2.5.	Ensayo de variabilidad dimensional.....	161
4.2.6.	Ensayo de succión .....	162
4.2.7.	Ensayo de SAET .....	163
4.2.8.	Ensayo de resistencia a la compresión de unidades .....	165
4.2.9.	Ensayo de resistencia a la compresión de pilas .....	166
<b>5.</b>	<b>Capítulo V: Discusión.....</b>	<b>167</b>
	<b>Glosario .....</b>	<b>171</b>
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>176</b>
	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>179</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>181</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>183</b>

### Índice de figuras

Figura 1 : Localidad de Misca - Paruro.....	22
Figura 2 : Colapso de vivienda – provincia Calca. ....	23
Figura 3 : Ciclo de la cal .....	32
Figura 4 : Cal de obra Martell .....	35
Figura 5 : Suelos apropiados para la fabricación de adobe .....	38
Figura 6 : Prueba granulométrica (Prueba de la botella).....	40
Figura 7 : Prueba de resistencia (Prueba de disco) .....	41
Figura 8 : Dimensiones del adobe.....	44
Figura 9 : Dimensiones con mortero.....	44
Figura 10 : Mezclado .....	45
Figura 11 : Verificación de humedad correcta. ....	45
Figura 12 : Moldeo.....	46
Figura 13 : Pasos del moldeo.....	47
Figura 14 : Desmoldeo.....	47
Figura 15 : Secado y almacenamiento. ....	48
Figura 16 : Control de calidad (grietas) .....	48
Figura 17 : Control de calidad (resistencia) .....	49
Figura 18 : Alabeo. ....	50
Figura 19 : Variación dimensional.....	50
Figura 20 : Ensayo de alabeo.....	52
Figura 21 : Ensayo de succión.....	53
Figura 22 : Esquema para el ensayo de erosión acelerada (SAET).....	54
Figura 23 : Ensayo de resistencia a la compresión. ....	55
Figura 24 : Ensayo de compresión axial .....	56
Figura 25 : Diseño de ingeniería.....	61
Figura 26 : Mezclado de la materia prima con agua (Masa de barro). ....	71
Figura 27 : Pisado de la mezcla de barro. ....	71
Figura 28 : Dormido de la mezcla de barro por un mínimo de un día.....	72
Figura 29 : Mezcla de barro lista para moldear las unidades de adobe. ....	72
Figura 30 : Colocado de la masa de barro en el molde de madera. ....	72
Figura 31 : Compactación de la unidad y adición de paja. ....	72
Figura 32 : Desmoldado de adobe tradicional. ....	72
Figura 33 : Secado de las unidades de adobe tradicional.....	72
Figura 34 : Masa de barro lista para ser mezclada con cal de obra .....	73
Figura 35 : Adición de la cal de obra a la masa de barro .....	73
Figura 36 : Mezcla de la pasta de barro con cal de obra .....	74
Figura 37 : La mezcla debe realizarse hasta conseguir una pasta uniforme .....	74
Figura 38 : Se coloca la mezcla dentro del molde .....	74
Figura 39 : Compactación de la mezcla .....	74
Figura 40 : Adobe mejorado con material calcáreo al 15% .....	74



Figura 41 : Adobe mejorado con material calcáreo al 20% ..... 74

Figura 42 : Secado de adobe mejorado con material calcáreo al 25% ..... 74

Figura 43 : Almacenado de las unidades adobe mejoradas con material calcáreo ..... 74

Figura 45 : Posterior al secado se efectúa el control de calidad ante el peso de un hombre, en las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 15%. 75

Figura 46 : Posterior al secado se efectúa el control de calidad ante el peso de un hombre, en las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 20%. 75

Figura 47 : Selección de las nueve unidades con menos irregularidades del adobe mejorado con material calcáreo al 25 % ..... 76

Figura 48 : Union de dos unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 25% con junta de barro de dos cm. de espesor. .... 76

Figura 49 : Union de la segunda unidad con la tercera unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 25% con junta de barro de dos cm. de espesor ..... 77

Figura 50 : Comprobacion del nivel de la pila de adobe mejorado con material calcáreo al 25%. .... 77

Figura 51 : Secado al aire libre de las pilas de adobe tradicional y adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%. .... 77

Figura 52: Llenar la botella hasta la mitad con la muestra de suelo ..... 78

Figura 53: Llenar con agua a una altura similar a la muestra de suelo en la botella y sacudir la botella hasta obtener una mezcla uniforme. .... 78

Figura 54: Dejar reposar durante 24 Horas. .... 78

Figura 55: Botella despues de 24 horas..... 78

Figura 56: Medicion de cada capa de suelo en centimetros. .... 79

Figura 57: Grafico de las capas de suelo con sus medidas..... 79

Figura 58: Cinta de barro suspendida de uno punto cinco centimetros de espesor..... 80

Figura 59: Cinta de barro rota en un extremo de doce punto ocho centimetros de longitud. .... 80

Figura 60: Verificación del diámetro de 3 cm. de los discos de barro..... 81

Figura 61: Verificación de la altura de 2 cm. de los discos de barro..... 81

Figura 62: Se dejó secar los discos de barro por 48 horas. .... 81

Figura 63: Rotura de los discos de barro..... 81

Figura 64: Cuarteo de la muestra de suelo. .... 82

Figura 65: Muestras paralelas de características semejantes representativas de suelo. ... 82

Figura 66: Peso de la muestra representativa. .... 82

Figura 67: Tamiz # 40. .... 84

Figura 68: Muestra húmeda en la cuchara de casagrande. .... 84

Figura 69: División de la muestra con el ranurador..... 84

Figura 70: Separando la muestra con la ayuda del ranurador ..... 84

Figura 71: Colocado al horno a 110°C durante 24 horas..... 84

Figura 72: Se registro el peso seco de las muestras. .... 84

Figura 73: Porción de material restante de límite líquido. .... 86

Figura 74: Se realizaron los cilindros mediante un restregado de la muestra sobrante del límite líquido. .... 86



Figura 75: Fisuración de los cilindros de 3 mm de diámetro que indican que la muestra está lista..... 86

Figura 76: Pesado de la muestras previo a su secado al horno..... 86

Figura 77: Colocado al horno a 110°C durante 24 horas..... 87

Figura 78: Resgistro del peso seco despues de las 24 horas de secado al horno..... 87

Figura 79: Colocamos el material de muestra en la balanza de precision. .... 88

Figura 80: Registramos el peso del material. .... 88

Figura 81: Procedimiento de zarandeo del material. .... 88

Figura 82: Se peso y resgistro, el material retenido en cada malla..... 88

Figura 83: Medida de la concavidad de la cara “a” en milímetros..... 90

Figura 84: Medida de la concavidad de la cara “b” en milímetros..... 90

Figura 85: Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcáreo al 15%..... 90

Figura 86: Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcáreo al 25%..... 90

Figura 87: Medida de la longitud de la unidad..... 93

Figura 88: Medida de la altura de la unidad..... 93

Figura 89: Medida del ancho de la unidad..... 93

Figura 90: Unidades ensayadas de adobe tradicional..... 93

Figura 91: Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcáreo al 25 %..... 94

Figura 92: Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcáreo al 20 %..... 94

Figura 93: Se lleno las bandejas con agua hasta una altura de 3 mm de espejo..... 99

Figura 94: Registramos el peso de la unidad seca..... 99

Figura 95: Colocamos la unidad en la bandeja durante 1 minuto..... 99

Figura 96: Registramos el peso de la unidad despues de ser sometido a succión..... 99

Figura 97: Unidades ensayadas a succion de adobe mejorado con material calcáreo al 15%..... 100

Figura 98: Unidades ensayadas a succion de adobe mejrado con material calcáreo al 20 %..... 100

Figura 99: Se coloco la unidad de adobe en el soporte en un angulo de 27°..... 105

Figura 100: Se deajo fluir el agua sobre la unidad de adobe..... 105

Figura 101: La duración del flujo de agua sobre la unidad de adobe fué de 10 minutos..... 105

Figura 102: Se registro la oquedad en milímetros..... 105

Figura 103: Registro de oquedad de una unidad de adobe tradicional..... 106

Figura 104: Unidades de adobe ensayadas..... 106

Figura 105: Se registro el area de cada unidad de adobe..... 111

Figura 106: Se coloco la unidad en la maquina con las respectivas laminas de neopreno en ambas caras de la unidad..... 111

Figura 107: Sometemos la unidad a compresion hasta el fallo de la misma..... 111

Figura 108: Tomamos nota de la carga registrada en la maquina de compresion..... 111

Figura 109: Se midio el area de contacto de la pila con la maquina de compresion... 116

Figura 110: Colocamos la pila con superficies de neopreno en ambas caras de contacto en la maquina de compresion..... 116

Figura 111: Se sometio la pila a compresion hasta el fallo..... 116

Figura 112: Pila Fracturada Despues de Ser Sometida a Compresion..... 116



Figura 113: Pilas ya sometidas al ensayo, son cargadas para ser trasladadas a la zona de desmonte. ....	116
Figura 114 : Carta de plasticidad de Casa Grande.....	124
Figura 115 : Curva granulométrica .....	126
Figura 116 : Análisis de datos – promedio de alabeo .....	130
Figura 117: Análisis de datos – promedio de la variación dimensional .....	136
Figura 118 : Análisis de datos - succión .....	142
Figura 119 : Análisis de datos - SAET .....	148
Figura 120 : Análisis de datos - resistencia a la compresión de unidades .....	151
Figura 121 : Análisis de datos - compresión de pilas .....	156
Figura 122 : Resultados - ensayo de alabeo .....	161
Figura 123 : Resultados - variación dimensional .....	162
Figura 124 : Resultados - succión.....	163
Figura 125 : Resultados - SAET.....	164
Figura 126 : Resultados – compresión de unidades.....	165
Figura 127 : Resultados - compresión de pilas.....	166
Figura 128 : Ficha técnica de la cal de obra de la marca Martell .....	187
Figura 129 : Análisis químico de la cal de obra de la marca Martell .....	188
Figura 130 : Ficha para utilizar laboratorio – ensayo de la botella .....	189
Figura 131 : Ficha para utilizar laboratorio – granulometría .....	190
Figura 132 : Ficha para utilizar laboratorio – limite líquido y limite plástico .....	191
Figura 133 : Ficha para utilizar laboratorio – ensayo de succión.....	192
Figura 134 : Ficha para utilizar laboratorio – ensayo de erosión acelerada Swinburne	193
Figura 135 : Ficha para utilizar laboratorio – ensayo de resistencia a la compresión ..	194
Figura 136 : Tabla de recolección de datos – limite plástico .....	195
Figura 137 : Tabla de recolección de datos – limite líquido .....	196
Figura 138 : Tabla de recolección de datos – granulometría .....	197
Figura 139 : Tabla de recolección de datos – alabeo del adobe tradicional.....	198
Figura 140 : Tabla de recolección de datos – alabeo del adobe mejorado con material calcáreo al 15 %.....	199
Figura 141 : Tabla de recolección de datos – alabeo del adobe mejorado con material calcáreo al 20 %.....	200
Figura 142 : Tabla de recolección de datos – alabeo del adobe mejorado con material calcáreo al 25 %.....	201
Figura 143 : Tabla de recolección de datos – variación dimensional del adobe tradicional.....	202
Figura 144 : Tabla de recolección de datos – variación dimensional del adobe mejorado con material calcáreo al 15% .....	203
Figura 145 : Tabla de recolección de datos – variación dimensional del adobe mejorado con material calcáreo al 20% .....	204
Figura 146 : Tabla de recolección de datos – variación dimensional del adobe mejorado con material calcáreo al 25% .....	205
Figura 147 : Tabla de recolección de datos – succión del adobe tradicional .....	206





Figura 148 : Tabla de recolección de datos – succión del adobe mejorado con material calcáreo al 15%..... 207

Figura 149 : Tabla de recolección de datos – succión del adobe mejorado con material calcáreo al 20%..... 208

Figura 150 : Tabla de recolección de datos – succión del adobe mejorado con material calcáreo al 25%..... 209

Figura 151 : Tabla de recolección de datos – erosión acelerada Swinburne del adobe tradicional..... 210

Figura 152 : Tabla de recolección de datos – erosión acelerada Swinburne del adobe mejorado con material calcáreo al 15% ..... 211

Figura 153 : Tabla de recolección de datos – erosión acelerada Swinburne del adobe mejorado con material calcáreo al 20% ..... 212

Figura 154 : Tabla de recolección de datos – erosión acelerada Swinburne del adobe mejorado con material calcáreo al 25% ..... 213

Figura 155 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de unidades de adobe tradicionales ..... 214

Figura 156 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 15%..... 215

Figura 157 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 20%..... 216

Figura 158 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 25%..... 217

Figura 159 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de pilas de adobe tradicionales ..... 218

Figura 160 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de pilas de adobe mejoradas con material calcáreo al 15%..... 219

Figura 161 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de pilas de adobe mejoradas con material calcáreo al 20%..... 220

Figura 162 : Tabla de recolección de datos – resistencia a la compresión de pilas de adobe mejoradas con material calcáreo al 25%..... 221

Figura 163 : Mezclado de la materia prima con agua (pasta) ..... 222

Figura 164 : Pisado de la mezcla de barro ..... 222

Figura 165 : Dormido de la mezcla de barro por un mínimo de 01 día ..... 222

Figura 166 : Mezcla de barro lista para moldear las unidades de adobe..... 222

Figura 167 : Colocado de la mezcla de barro en el molde de madera ..... 222

Figura 168 : Compactación de la unidad y adición de paja..... 222

Figura 169 : Desmoldado de adobe tradicional ..... 223

Figura 170 : Secado de las unidades de adobe tradicional ..... 223

Figura 171 : Pasta de barro lista para ser mezclada con cal de obra..... 223

Figura 172 : Adición de la cal de obra a la pasta de barro ..... 223

Figura 173 : Mezcla de la pasta de barro con cal de obra ..... 223

Figura 174 : La mezcla debe realizarse hasta conseguir una pasta uniforme..... 223

Figura 175 : Se Coloca la mezcla dentro del molde ..... 223

Figura 176 : Compactación de la mezcla ..... 223



Figura 177 : Bolsas de cal para obra de la marca Martell. .... 224

Figura 178 : Marcado de los moldes de adobe para la separacion de la cal con respecto al volumen del molde (se repite este proceso para cada porcentaje de adicion).....224

Figura 179 : Racionamiento de la cal con respecto al volumen del molde (se repite este proceso para cada porcentaje de adicion). .... 224

Figura 180 : Pesamos el volumen separado en el molde (se repite este proceso para cada porcentaje de adicion). .... 224

Figura 181 : Separado de cal en peso con respecto al volumen en bolsas, para facilitar el proceso de adicion en la elaboracion de las unidades de adobe mejorado. 224

Figura 182 : Calculo de volumen del molde. .... 224

Figura 183 : Adobe mejorado con material calcáreo al 15 % ..... 225

Figura 184 : Adobe mejorado con material calcáreo al 20 % ..... 225

Figura 185 : Adobe mejorado con material calcáreo al 25 % ..... 225

Figura 186 : Almacen de adobe ..... 225

Figura 187 : Adobe tradicional y adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25% ..... 225

Figura 188 : Traslado del adobe mejorado con material calcáreo al 25 % ..... 225

Figura 189 : Selección de unidades para la elaboracion de pilas ..... 226

Figura 190 : Union de dos unidades de adobe con mortero de 2cm de espesor para elaboracion de pilas ..... 226

Figura 191 : Pila de adobe mejorado con material calcáreo al 25% ..... 226

Figura 192 : Almacen de adobe ..... 226

Figura 193 : Adicion de agua en la prueba de la botella ..... 226

Figura 194 : Medicion de cada capa de suelo en centimetros ..... 226

Figura 195 : Cinta de barro supendida de 1.5 cm de diametro..... 227

Figura 196 : Cinta de barro rota en un extremo de 12.8 cm de longitud. .... 227

Figura 197 : Prueba de resistencia seca..... 227

Figura 198 : Discos rotos, correspondientes a la prueba de resistencia seca. .... 227

Figura 199 : Cuarteo de la muestra de suelo ..... 227

Figura 200 : Muestra representativa de suelo ..... 227

Figura 201 : Peso de la muestra representativa. .... 228

Figura 202 : Ensayo de limite liquido para clasificacion de suelos. .... 228

Figura 203 : Division de la muestra con el ranurador..... 228

Figura 204 : Ensayo de limite plastico para clasificacion de suelos. .... 228

Figura 205 : Baston de suelo ..... 228

Figura 206 : Muestras de limite liquido y limite plastico en horno a 110°C. .... 228

Figura 207 : Zarandeo del material. .... 229

Figura 208 : Material retenido en cada malla. .... 229

Figura 209 : Ensayo de alabeo, medicion de la concavidad de una unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 20%. .... 229

Figura 210 : Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcacareo al 25%. .... 229



Figura 211 : Preparado de una unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 15% para el ensayo de variacion dimensional..... 229

Figura 212 : Registro del ancho en centrimetros de un adobe mejorado con material calcáreo al 15%, en el ensayo de variacion dimensional. .... 229

Figura 213 : Ensayo de succión. .... 230

Figura 214 : Unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 20% en contacto con espejo de agua durante 1 minuto. .... 230

Figura 215 : Peso de la unidad despues de la prueba de succión. .... 230

Figura 216 : Unidades ensayadas a succion de adobe mejrado con material calcáreo al 20 %. .... 230

Figura 217 : Ensayo de SAET en unidades de adobe mejorado al 15%. .... 230

Figura 218 : Ensayo SAET de un adobe mejorado con material calcáreo al 25%. .... 230

Figura 219 : Medicion de la oquedad de una unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 20%..... 231

Figura 220 : Medicion de la oquedad de una unidades de adobe tradicional..... 231

Figura 221 : Emsayo de SAET en una unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 20%. .... 231

Figura 222 : Ensayo de resistencia a la compresion de unidades de adobe tradicional. .... 231

Figura 223 : Ensayo de resistencia a la compresion de unidades adobe mejorado con material calcáreo al 15%. .... 231

Figura 224 : Carga maxima registrada (8900 kgf) de una unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 15%. .... 231

Figura 225 : Carga maxima registrada (7010 kgf) de una unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 25%. .... 232

Figura 226 : Unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 25% despues del ensayo de resistencia a la compresion. .... 232

Figura 227 : Ensayo de resistencia a la compresion de pilas de adobe tradicional. .... 232

Figura 228 : Ensayo de resistencia a la compresion de pilas de adobe mejorado con material calcáreo al 25%. .... 232

Figura 229 : Ensayo de resistencia a la compresion de pilas de adobe mejorado con material calcáreo al 15%. .... 232

Figura 230 : Ensayo de resistencia a la compresion de pilas de adobe mejorado con material calcáreo al 20%. .... 232

Figura 231 : Pilas de adobe tradicional despues del ensayo de resistencia a la compresion. .... 233

Figura 232 : Pila de adobe mejorado con material calcáreo al 20 % despues del ensayo de resistencia a la compresion. .... 233

Figura 233 : Pila de adobe mejorado con material calcáreo al 15 % ingresando a la maquina de resistencia a la compresion..... 233

Figura 234 : Pilas de adobe (adobe tradicional y adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%). .... 233



Índice de tablas

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables ..... 59

Tabla 2: Cantidad de especímenes a ensayar ..... 64

Tabla 3: Tabla de recolección de datos para limite líquido..... 65

Tabla 4: Tabla de recolección de datos para limite plástico..... 65

Tabla 5: Tabla de recolección de datos para ensayo de granulometría..... 66

Tabla 6: Tabla de recolección de datos para ensayo de variabilidad dimensional ..... 67

Tabla 7: Tabla de recolección de datos para el ensayo de alabeo ..... 68

Tabla 8: Tabla de recolección de datos para ensayo de succión ..... 68

Tabla 9: Tabla de recolección de datos para ensayo de Saet..... 69

Tabla 10: Tabla de recolección de datos para ensayo a la compresión de unidades ..... 69

Tabla 11: Tabla de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de pilas..... 70

Tabla 12: Toma de datos muestreo de suelo ..... 83

Tabla 13: Toma de datos de limite líquido..... 85

Tabla 14: Toma de datos de limite plástico..... 87

Tabla 15: Toma de datos granulometría..... 89

Tabla 16: Toma de datos alabeo – adobe tradicional..... 91

Tabla 17: Toma de datos alabeo – adobe mejorado al 15% ..... 91

Tabla 18: Toma de datos alabeo – adobe mejorado al 20% ..... 92

Tabla 19: Toma de datos alabeo – adobe mejorado al 25% ..... 92

Tabla 20: Toma de datos variabilidad dimensional adobe tradicional ..... 95

Tabla 21: Toma de datos variabilidad dimensional adobe mejorado al 15%..... 96

Tabla 22: Toma de datos variabilidad dimensional adobe mejorado al 20% ..... 97

Tabla 23: Toma de datos variabilidad dimensional adobe mejorado al 25% ..... 98

Tabla 24: Toma de datos succión - adobe tradicional..... 101

Tabla 25: Toma de datos succión - adobe mejorado al 15% ..... 102

Tabla 26: Toma de datos succión - adobe mejorado al 20% ..... 103

Tabla 27: Toma de datos succión - adobe mejorado al 20% ..... 104

Tabla 28: Toma de datos SAET - adobe tradicional..... 107

Tabla 29: Toma de datos SAET - adobe mejorado al 15% ..... 108

Tabla 30: Toma de datos SAET - adobe mejorado al 20% ..... 109

Tabla 31: Toma de datos SAET - adobe mejorado al 25% ..... 110

Tabla 32: Toma de datos ensayo de compresión de unidades - adobe tradicional..... 112

Tabla 33: Toma de datos ensayo de compresión - adobe mejorado al 15%. ..... 113

Tabla 34: Toma de datos ensayo de compresión. - adobe mejorado al 20% ..... 114

Tabla 35: Toma de datos ensayo de compresión. - adobe mejorado al 25% ..... 115

Tabla 36: Toma de datos compresión de pilas - adobe tradicional..... 117

Tabla 37: Toma de datos de compresión de pilas - mejorado al 15% ..... 117



Tabla 38: Toma de datos de compresión de pilas - mejorado al 20% ..... 118

Tabla 39: Toma de datos de compresión de pilas - mejorado al 25% ..... 118

Tabla 40 : Análisis de datos - preparación de adobe tradicional ..... 119

Tabla 41 : Análisis de datos - preparación del adobe mejorado al 15% ..... 120

Tabla 42 : Análisis de datos - preparación del adobe mejorado al 20% ..... 121

Tabla 43 : Análisis de datos - preparación del adobe mejorado al 25% ..... 121

Tabla 44 : Análisis de datos - muestreo ..... 122

Tabla 45: Análisis de datos - límites de Atterberg ..... 123

Tabla 46 : Tipo de material según su plasticidad ..... 124

Tabla 47 : Análisis de datos - granulometría..... 125

Tabla 48 : Ensayo de granulometría ..... 126

Tabla 49: Resultados - gradación en porcentajes ..... 127

Tabla 50 : Análisis de datos – alabeo adobe tradicional ..... 128

Tabla 51 : Análisis de datos – alabeo adobe mejorado al 15% ..... 129

Tabla 52 : Análisis de datos – alabeo adobe mejorado al 20% ..... 129

Tabla 53: Análisis de datos – alabeo adobe mejorado al 25% ..... 130

Tabla 54 : Análisis de datos para los promedios de alabeo..... 131

Tabla 55 : Análisis de datos – variabilidad dimensional adobe tradicional ..... 132

Tabla 56 : Análisis de datos – variabilidad dimensional adobe mejorado al 15% ..... 133

Tabla 57 : Análisis de datos – variabilidad dimensional adobe mejorado al 20% ..... 134

Tabla 58: Análisis de datos – variabilidad dimensional adobe mejorado al 25% ..... 135

Tabla 59 : Análisis de datos – promedio de la variación dimensional..... 136

Tabla 60 : Análisis de datos – succión adobe tradicional ..... 138

Tabla 61 : Análisis de datos – succión adobe mejorado al 15%..... 139

Tabla 62 : Análisis de datos – succión adobe mejorado al 20%..... 140

Tabla 63: Análisis de datos – succión adobe mejorado al 25% ..... 141

Tabla 64 : Análisis de datos - succión..... 142

Tabla 65 : Resistencia a la erosión. criterios de aceptación o rechazo ..... 143

Tabla 66 : Análisis de datos – SAET adobe tradicional ..... 144

Tabla 67 : Análisis de datos – SAET adobe mejorado al 15%..... 145

Tabla 68 : Análisis de datos – SAET adobe mejorado al 20%..... 146

Tabla 69 : Análisis de datos – SAET adobe mejorado al 25%..... 147

Tabla 70 : Análisis de datos - SAET..... 148

Tabla 71 : Análisis de datos – resistencia a la compresión adobe tradicional..... 149

Tabla 72 : Análisis de datos – resistencia a la compresión adobe mejorado al 15% .... 150

Tabla 73 : Análisis de datos – resistencia a la compresión adobe mejorado al 20% .... 150

Tabla 74: Análisis de datos – resistencia a la compresión adobe mejorado al 25% .... 151

Tabla 75 : Análisis de datos - resistencia a la compresión de unidades..... 152

Tabla 76 : Criterio de Alfa de Cronbach para ver de la fiabilidad de datos..... 153

Tabla 77 : Calculo del Alfa de Cronbach para el ensayo de resistencia a la compresión de unidades..... 153



Tabla 78 : Análisis de datos – compresión de pilas de adobe tradicional.....	154
Tabla 79 : Análisis de datos – compresión de pilas de adobe mejorado al 15% .....	155
Tabla 80 : Análisis de datos – compresión de pilas de adobe mejorado al 20% .....	155
Tabla 81: Análisis de datos – compresión de pilas de adobe mejorado al 25% .....	156
Tabla 82 : Análisis de datos compresión de pilas .....	156
Tabla 83 : Calculo del Alfa de Cronbach para el ensayo de resistencia a la compresión de pilas .....	157
Tabla 84 : Resultados - fabricación de adobe tradicional .....	158
Tabla 85 : Resultados - fabricación de adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.....	158
Tabla 86 : Resultados – muestreo .....	159
Tabla 87: Resultados - límites de Atterberg .....	159
Tabla 88 : Resultados - tipo de material según SUCS .....	159
Tabla 89 : Porcentajes de arenas, limos y arcillas .....	160
Tabla 90 : Resultados - alabeo.....	161
Tabla 91 : Resultados - variación dimensional.....	162
Tabla 92 : Resultados – succión .....	163
Tabla 93 : Resultados – SAET .....	164
Tabla 94 : Resultados – compresión de unidades .....	165
Tabla 95 : Resultados - compresión de pilas .....	166
Tabla 96 : Costo por millar de adobes tradicionales.....	183
Tabla 97 : Costo por millar de adobes mejorados con material calcáreo al 15 % .....	184
Tabla 98 : Costo por millar de adobes mejorados con material calcáreo al 20 % .....	185
Tabla 99 : Costo por millar de adobes mejorados con material calcáreo al 25 % .....	186

## 1. Capítulo I: Planteamiento del problema

### 1.1 Identificación del problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

Las unidades de adobe son materiales de bajo costo y de fácil acceso, estas características hacen que este material sea muy utilizado en la construcción de viviendas en la ciudad del Cusco, en casi la totalidad de casos estas unidades de adobe son elaboradas en la misma zona de construcción o en lugares de fabricación improvisados, con la peculiaridad de que esta elaboración en ambos casos es de manera artesanal, experimental y sin el debido control de calidad. Esto conlleva que las edificaciones de adobe son generalmente autoconstruidas, porque la técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energía; lo que a su vez ocasiona que las viviendas sean susceptibles a sismos de moderada intensidad, así como posibles desmoronamientos ante precipitaciones intensas y/o posibles inundaciones como son los casos de:

- El día 26 de septiembre del año 2014 en la localidad de Misca – Paruro ocurrió un movimiento sísmico de 5.1 en la escala de Richter. Este evento sísmico dejó un resultado de 69 viviendas de adobe colapsadas y 4 viviendas de adobe en situación de inhabitable.



Figura 1 : Localidad de Misca - Paruro.

Fuente: (Diario El Comercio, 2014)

- En fecha del sábado 23 de enero del 2010 como consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales se incrementó el caudal del río Vilcanota ocasionando el desborde del mismo que afectó viviendas de construcción artesanal próximas al río, carreteras, puentes y áreas de cultivo pertenecientes al distrito de Calca de la provincia de Calca.



Figura 2 : Colapso de vivienda – provincia Calca.

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2010)

La presencia de dichos fenómenos naturales relacionados a precipitaciones pluviales, desbordes de río y movimientos sísmicos se opta por la elaboración de nuevas unidades de adobe, mezclando la tierra con aditivos, buscando obtener una mejora con respecto a sus propiedades físicas y mecánicas; es por esta razón que para la presente investigación se opta por el mejoramiento de unidades con material calcáreo con el fin de mejorar sus resistencias a futuros fenómenos de igual o mayor magnitud.

### 1.1.2 Formulación interrogativa del problema

#### 1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál será la variación de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe mejorado con material calcáreo?





### 1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

1. ¿Cuál será el alabeo de un adobe mejorado con material calcáreo frente a un material tradicional?
2. ¿Cuál será la variación dimensional de un adobe mejorado con material calcáreo frente a un adobe tradicional?
3. ¿Cuánto varía el índice de succión del agua de un adobe mejorado con material calcáreo frente a un adobe tradicional?
4. ¿Cuál será el nivel de comportamiento al ensayo de erosión acelerada Swinburne de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe mejorado con material calcáreo?
5. ¿Cuánto varía la resistencia a la compresión de una unidad de adobe mejorado con material calcáreo frente a una unidad de adobe tradicional?
6. ¿Cuánto varía la resistencia a la compresión de una pila de adobe mejorado con material calcáreo frente a una pila de adobe tradicional?

## 1.2 Justificación e importancia de la investigación

### 1.2.1 Justificación técnica

Esta investigación se justifica técnicamente en vista de que las unidades de adobe elaboradas con procesos tradicionales tienen deficiencias tanto en sus propiedades físicas como en sus propiedades mecánicas, motivo por el cual esta investigación se enfoca en mejorar considerablemente las propiedades físicas y mecánicas con la implementación de material calcáreo, aportando así conocimientos e información a la rama de construcciones y Tecnología de Materiales de la Ingeniería Civil.

### 1.2.2 Justificación social

Socialmente, es importante este estudio porque con su implementación se podrá mejorar la calidad de viviendas elaboradas con adobe, brindando mayor seguridad a las personas que habitan en ellas, así como también es importante por el aporte académico que brindará en el entorno de la investigación de materiales de construcción.

### 1.2.3 Justificación por viabilidad

La evaluación de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe mejorado con material calcáreo es viable ya que esta investigación genera un costo accesible en el



proceso de su elaboración, además cabe resaltar que para esta investigación se tiene acceso a:

- Recolección de datos
- Acceso y obtención de muestras
- Normas y bibliografía
- Antecedentes
- Investigaciones similares
- Laboratorio y equipos

#### 1.2.4 Justificación por relevancia

Esta investigación es relevante, ya que de manera técnica podremos proponer, justificar y dar a conocer a la población la implementación de nuevas tecnologías en la fabricación de adobe, las cuales puedan generar mejoras en sus componentes, propiedades físicas y propiedades mecánicas, aumentando así la seguridad y la calidad de vida de la población que opte por viviendas de adobe que son económicas y de fácil elaboración.

#### 1.3 Limitaciones de la investigación

1. Se limita a las unidades de adobe tradicional elaboradas en el distrito de San Jerónimo con su cantera excepcional de la zona de Angostura.
2. Se limita a las unidades de adobe mejorado, fabricados con la adición de material calcáreo al 15%, 20 % y 25%.
3. Se limita a las unidades de adobe estudiadas de dimensiones 32 cm x 16 cm x 8 cm. Por motivo de compatibilidad con la máquina de resistencia a la compresión de laboratorio de la universidad Andina del Cusco en el caso de compresión de pilas.
4. Se limita al estudio de propiedades físicas y mecánicas (variabilidad dimensional, alabeo, resistencia a la compresión de las unidades, resistencia a la compresión de pilas, SAET y succión).
5. La norma E.080 (2017) es muy imprecisa en cuanto a las unidades de adobe como unidad de albañilería ya que la norma no presenta ningún ensayo para determinar la calidad de las unidades ante su exposición al agua así mismo tampoco presenta ningún aditivo para mejorar sus características ante la exposición a esta ni tampoco ante las fuerzas de compresión a comparación de normas internacionales



las cuales presentan explicaciones sobre estos aspectos a través de ensayos y sugiriendo además aditivos para mejorar sus características físicas y mecánicas.

#### 1.4 Objetivo de la investigación

##### 1.4.1 Objetivo general

Determinar las diferencias de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe mejorado con material calcáreo.

##### 1.4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el alabeo de un adobe mejorado con material calcáreo frente a un adobe tradicional.
- b) Determinar la variación dimensional de un adobe mejorado con material calcáreo frente a un adobe tradicional.
- c) Comparar el índice de succión de agua de un adobe mejorado con material calcáreo frente a un adobe tradicional.
- d) Comparar el nivel de comportamiento al ensayo de erosión acelerada Swinburne de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe mejorado con material calcáreo.
- e) Comparar la resistencia a la compresión de una unidad de adobe mejorado con material calcáreo frente a una unidad de adobe tradicional.
- f) Comparar la resistencia a la compresión de una pila de adobe mejorado con material calcáreo frente a una pila de adobe tradicional.



## 2. Capítulo II: Marco teórico de la tesis

### 2.1. Antecedentes de la tesis

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

**Autor:** Juan Carlos Bolaños Rodríguez

**Título:** “RESISTENCIA A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y ABSORCIÓN DEL ADOBE COMPACTADO CON ADICIÓN DE GOMA DE TUNA”

**Universidad:** Universidad Privada del Norte,

**Lugar:** Cajamarca - Perú

**Año:** Publicación 2016.

#### **Resumen:**

En esta investigación tuvo como objeto evaluar la resistencia a compresión, flexión y absorción de las unidades de adobe compactadas con adición de gomas de tuna, para este fin se elaboró un estudio de suelos para la caracterización de los materiales esenciales en la elaboración de las unidades de adobe.

El material en cuanto al suelo utilizado para la elaboración de estas unidades fue extraído de la cantera “Shaullo Chico”, para ello inicialmente se realizó el análisis granulométrico, así como los límites de consistencia, para obtener la clasificación del mismo y así también poder ver si este material cumple con los requisitos que exige la norma N.T.P. E.080, luego a través del ensayo de Proctor Modificado se determinó la cantidad de agua necesaria utilizada en la elaboración de la unidades de adobe patrón así como también en las unidades con goma de tuna en porcentajes de 5%, 10% y 15%. Cabe resaltar que estos adobes fueron elaborados a través de la maquina CINVA RAM, disponible en la Universidad Privada Del Norte Cajamarca.

Los resultados hallados indicaron que todos sus adobes superaron los 12 kg/cm<sup>2</sup> que es lo mínimo que acepta la E080, en específico los resultados para la muestra patrón fue de 19.19 kg/cm<sup>2</sup> y para las unidades adicionadas con goma de tuna al 5%, 10% y 15% presentaron valores de 21.90 kg/cm<sup>2</sup>, 25.27 kg/cm<sup>2</sup> y 27.56 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, siendo el mejor adobe con resistencia a la compresión el de 15% con goma de tuna.

**Conclusión:**

- El adobe compactado con adición de goma de tuna en porcentajes de 5%, 10% y 15% aumentan la resistencia a compresión y flexión hasta un 43% y 42 % respectivamente en comparación con la muestra patrón sin aditivo y para la absorción de agua la muestra patrón no resistió la prueba, pero las unidades con adición de goma de tuna de 5% y 10% fueron las únicas que resistieron este ensayo. Estos resultados influenciaron a la presente investigación porque se aseguró que a un 15% de aditivos las unidades de adobe muestran una tendencia de progreso, en cuanto a las características mecánicas.

**Autor:** Zenaida Huamán Patiño

**Título:** “ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES Y FÍSICAS DE UN ADOBE ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP RESPECTO A UN ADOBE TRADICIONAL”

**Universidad:** Universidad Andina del Cusco

**Lugar:** Cusco - Perú

**Año:** Publicación 2015.

**Resumen:**

En esta investigación tuvo como objetivo general la comparación a nivel experimental de las propiedades tanto físicas como mecánicas de las unidades de adobe estabilizadas con cemento Portland tipo IP, con unidades de adobe tradicional.

En tal sentido las unidades fueron estabilizadas a un 5% y 10% con cemento Portland IP. En cuanto a la caracterización del suelo a usar se utilizaron los ensayos de limite líquido, limite plástico y granulometría para la evaluación, así como comparación de las unidades tradicionales y estabilizadas se utilizaron los ensayos de variabilidad dimensional, alabeo, succión de agua, absorción de agua y el ensayo de compresión de unidades.

La alternativa de elaboración que presenta esta tesis se basa como una alternativa ecológica, ya que la materia prima para su elaboración es el suelo además la fabricación de estas unidades estabilizadas es más fácil en comparación a las de ladrillo cocido, así



como de bloquetas de concreto, los mismo podemos decir en cuanto a costos ya que también en esto las unidades estabilizadas son más económicas porque el suelo utilizado puede ser usado del mismo terreno donde se va a ejecutar la construcción.

**Conclusión:**

La alternativa de crear estas unidades estabilizadas con cemento Portland Tipo IP es una innovación ya que su uso es de fácil aplicación en zonas rurales, en cuanto a los resultados obtenidos estos fueron de mejoría como es el caso de compresión de unidades porque se obtuvo una mejora de 1.25 % para unidades estabilizadas al 5 % y 1.36% para unidades estabilizadas al 10%. Es en este contexto que esta tesis aporto a la presente investigación recomendaciones de los ensayos que se necesitan para evaluar las características físicas y mecánicas de las unidades de adobe.

**2.1.2. Antecedentes a nivel internacional**

**Autor:** José Luis Muentes Alvarado

**Título:** “OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE ADOBE SISMO RESISTENTE, COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDAS FAMILIARES DE BAJO COSTO”

**Universidad:** Universidad de Guayaquil

**Lugar:** Guayaquil – Ecuador

**Año:** Publicación 2016.

**Resumen:**

En la presente investigación se expone el tema del adobe como material de construcción, para dar a conocer un sistema alternativo en la elaboración de viviendas ecológicas y sismo resistentes, para lo cual se trabajó con la Norma E.080 – 2006, en la cual establecen los requisitos y criterios técnicos de diseño para este tipo de edificaciones. El trabajo cuenta con un análisis comparativo de las bondades entre las viviendas de adobe tradicional y las viviendas con tecnología de reforzamiento; que mejoren el comportamiento de las construcciones en Adobe ante los fenómenos sísmicos.

Este modelo estructural planteado dio respuesta al uso de adobe como material de construcción el cual fue mejorado con un agente estabilizante como lo es el cemento



Portland aun porcentaje de 8% cabe mencionar que la comparación de diseño estructural de las viviendas se realizó a través del programa ETABS.

### **Conclusión:**

Esta investigación concluye que el uso de cemento Portland en las unidades de adobe mejora la calidad estructural de los muros elaborados con estos ya que sus resultados a flexión, cortante y volteo son favorables. La relevancia en función a la presente investigación, se marca en que esta concluye como recomendación en que los aditivos ya sea cemento Portland o material calcáreo a usar en las unidades de adobe deben ser menores al 20%.

## 2.2. Aspectos teóricos pertinentes

### 2.2.1. Adobe

Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad. (E-080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017)

### 2.2.2. Adobe estabilizado

Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (cal, cemento, asfalto, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad. (Norma E.080, 2006)

### 2.2.3. Cal

Las cales, sea cual fuere su composición y aspecto físico son producto de las rocas calizas en cuanto a su denominación esta es genérica ya que se denomina cal a todas las formas físicas en las que aparezca el óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), o los hidróxidos de calcio y el de magnesio (Ca(OH)<sub>2</sub> y Mg(OH)<sub>2</sub>). (Cymper, 2015).

#### 2.2.3.1. Ciclo de la cal

La elaboración de los morteros de cal se da a través de un ciclo, el cual consiste en la calcinación de piedras calizas a temperaturas similares a los 900°C, lo que produce la siguiente reacción:





Una vez obtenido el óxido de calcio (CaO) al cual se le denomina cal viva se le procede a establecer una reacción con agua para formar un hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) al cual se le denomina de manera común cal apagada.



Este procedimiento tiene la intención de que esta cal apagada sea una pasta de fácil uso en la construcción.

Posterior para la creación de los morteros de cal esta se mezcla con arena y agua en diferentes proporciones. Para que así el hidróxido de calcio reaccione con el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) de la atmósfera, y así ésta se carbonata adquiriendo endurecimiento. Este proceso se da de la siguiente manera:



Posterior a esta mezcla de la arena con el hidróxido de cal y agua se obtiene un mortero de cal. El cual fragua cuando el exceso de agua es evaporada, endureciéndose debido a la acción del dióxido de carbono de la atmósfera a este proceso se le conoce carbonización. (Brostow , 1981). La reacción mencionada se puede ver a continuación:



Es así como el ciclo de cal se completa quedando como mención de que este empieza y termina con el carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).



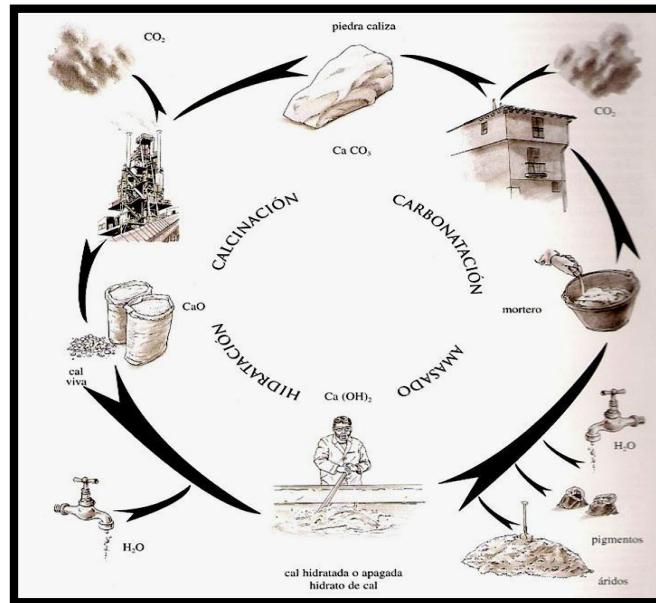


Figura 3 : Ciclo de la cal

Fuente: (Dullinger, 2011)

Cabe mencionar que el proceso de carbonización es demasiado lento ya que este empieza a las veinticuatro horas de amasar el mortero de cal y termina al cabo de seis meses obteniendo al cabo de ese tiempo recién la solidez definitiva.

#### 2.2.3.2. Composición genérica de los tipos de cal.

La cal de obra que es la más común utilizada en construcción es un tipo de cal apagada, pero hay que mencionar que existen diversas variantes de cal en función al grado de pureza de la roca caliza utilizada en su fabricación. Estas rocas encontradas no son calcita en estado puro sino también poseen en su composición otro tipo de materiales como arcilla, óxido de magnesio, óxido de hierro y demás materias orgánicas que hacen que la cal resultante tenga propiedades diferentes. Para ello tenemos entre los principales tipos de cal:

- **Cal aérea (L):** Su fundamental propiedad es que estas pueden endurecer mediante el contacto con el aire. Su origen se da en rocas calizas que tienen como un máximo 5% de arcillas y hasta un 5% como máximo de otras materias. Quedando así un 90% de calcita. Una de sus características es su finura ya que es más fina que otros tipos, gracias a ello esta posee una gran trabajabilidad, pero como factor



en contra podemos decir que su resistencia al agua es muy escasa es por ello que su uso es solo recomendado para trabajos de acabado.

- **Cal hidráulica:** Este tipo de cal se obtiene por la calcinación de calizas que tienen en su composición entre el 5% y el 25% aproximadamente de arcilla, resultando un compuesto aglomerante que además de cal viva, contiene silicatos y aluminatos. Debido a esas impurezas solo una temperatura mayor a la de calcinación tradicional de los hornos que es de 1200°C, la podría convertir en cal viva. Aparte de que esta cal pueda tener una muy buena trabajabilidad. Además, con el tiempo esta adquiere una mayor resistencia a la compresión gracias a su endurecimiento rápido. En cuanto a cales hidráulicas podemos decir que hay dos tipos ya que unas que deben su hidráulica a la composición natural de su materia prima (NHL) y las otras la obtienen mediante la adición de componentes artificiales (HL), a continuación, se presentan estos dos tipos de cal hidráulica:

- **Cal hidráulica natural (NHL):** son producto de la calcinación de calizas que contienen de un 5 a un 25% de arcilla. Estas son esencialmente destinadas a la construcción ya que poseen una mayor resistencia que una cal aérea. Al calentar los minerales de arcilla presentes en la caliza, sufren modificaciones químicas y estructurales (deshidratación, descomposición y la formación de nuevas fases) transformando profundamente su estructura molecular, dando lugar a la aparición de minerales de altas temperaturas.

El proceso térmico al cual es sometida la arcilla consiste en eliminar el contenido de agua absorbida la cual está ubicada entre las capas, permitiendo que la estructura cristalina colapse y se forme una estructura de silicato de alúmina amorfo lo cual desarrolla mejores propiedades mecánicas en el mortero.

La primera transformación se da a una temperatura de 300°C es durante esta cocción que se da desaparición de la goethita. Esta goethita se descompone en forma de hematita de acuerdo con la reacción:





Aunque la hematita cristalizada se encuentra a unos 900°C. A su vez la caolinita se descompone en metacaolinita amorfa a 500°C por la eliminación de los grupos hidroxilo de la red de silicato, de acuerdo con la reacción:



Cabe mencionar que la anatasa desaparece después de 700°C. También a los 700°C, el  $\text{CaCO}_3$  se empieza a descomponer produciendo  $\text{CaO}$ , ya que se da la liberación de  $\text{CO}_2$ .

La descomposición y la desaparición de todas las fases dan a lugar a una fase vítrea. En esta etapa la arcilla es un material amorfo con algunos granos residuales de calcita y cuarzo, de hematita y de neoformados. A los 900°C nuclean nuevas fases cristalinas y crecen a partir del material vitrificado produciendo la gehlenita, wollastonita, larnite, que se mantienen entre 900°C y 1100°C. Después de 700°C el  $\text{CaO}$  libre reacciona con sílice y alúmina derivados de la descomposición de la Illita, formando Gehlenita de acuerdo a la siguiente reacción:  $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (mezcla amorfa) +  $6\text{CaO} \rightarrow 3\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  (Gelenita). Wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ) es otra fase abundante, formado por la reacción siguiente:  $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$ . Por lo general, wollastonita y gehlenita se consideran compuestos intermedios, que se vuelven inestables en presencia de  $\text{SiO}_2$  y reaccionan para dar Anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Larnite ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) también se formó como una fase de menor importancia de la reacción entre la cal y cuarzo:  $2\text{CaO} + \text{SiO}_2$  amorfa  $\rightarrow \text{Ca}_2\text{SiO}_4$ .

- **Cales hidráulicas artificiales (HL):** tienen hidraulicidad superior a la de las cales hidráulicas naturales, su característica principal es que contienen sustancias añadidas antes o después de la cocción, como: polvo de roca volcánica, cenizas volantes de la combustión de petróleo, escorias siderúrgicas, fragmentos de ladrillos o de cerámica que reaccionan con el hidróxido de calcio a temperatura ordinaria para formar compuestos con propiedades cementantes. Los materiales hidráulicos producen una mejora

de las resistencias mecánicas de los morteros y una reducción de su permeabilidad, gracias a la mayor cohesión entre el aglomerante y el árido. (Bermutez, 2012).

#### 2.2.4. Cal utilizada en la presente investigación

En esta investigación se utilizó la **Cal de Obra Martell** que es un compuesto formado de trazas de carbonato de calcio, hidróxido de calcio o bien una mezcla de carbonato de calcio y partículas de rocas disgregadas. La comercialización se realiza en sacos de polietileno de 20 kg de peso y bolsas laminadas de 1 kg. (Martell)

La ficha técnica de la **Cal de Obra Martell** se muestra en los anexos el Fig. 128 así como el análisis químico realizado a la misma en la Fig.129.



Figura 4 : Cal de obra Martell

(Fuente: Elaboración propia, 2018)



### 2.2.5. Materiales para edificaciones de adobe

En la presente investigación se brinda información de los materiales que son requeridos para la elaboración correcta de las unidades de adobes. Los materiales básicos se describirán de una manera específica y para los demás que son de origen industrial su descripción es general.

#### 2.2.5.1. Suelos

Para la correcta elaboración de adobes lo primero es seleccionar un suelo adecuado, es en contribución a este fin que existen unas pruebas in situ, así como ensayos de laboratorio. Los primeros permiten tener seguridad en relación con el suelo escogido y pueden orientar todo el siguiente proceso de preparación de adobes; sin embargo, suelen ser costosos y muchas veces difíciles de aplicar en razón de la distancia a la que suelen encontrarse las canteras; por ello su aplicación será justificable económicamente solo en el caso de tratarse de una obra grande, lo cual no es frecuente.

En obras menores que es la particularidad de las edificaciones de adobe estas se dan muchas veces, mediante procesos de autoconstrucción, para ello existe la selección de suelos esta puede realizarse con suficiente seguridad mediante los ensayos de campo in situ, a su vez estos también pueden ser reforzados por ensayos de laboratorio que brindan mayor margen de confiabilidad.

Un adobe de buena calidad, nace a través de un suelo que cuente con una adecuada proporción entre sus contenidos de arena y arcilla, que a su vez estos son los materiales finos de un suelo. La arcilla es un material que posee propiedades adhesivas y ligantes, y actuando como un cementante de la otra parte fina, mientras las arenas constituyen los inertes del suelo que les confieren su capacidad resistente a las unidades de adobe.

En general, de acuerdo al Sistema Unificado de Suelos (SUCS), puede considerarse aceptables los suelos cuyo porcentaje de arenas varíe de 55 a 75% (retenidos en la malla #200) y el porcentaje de finos lo haga de 25 a 45% (limos y arcillas) sin embargo como acápite importante los suelos con un porcentaje mayor al de 18% de arcillas no serán aceptables ya que un porcentaje mayor de arcilla puede producir cambios volumétricos indeseables en los adobes. Sobre este punto, es recomendable que la gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: Arcilla 10-20%, Limos 15-25% y arena 55-70%. Los rangos indicados podrían variar para los adobes estabilizados.



En cuanto a los Límites de Atterberg, es recomendable que el límite líquido varíe entre 20 y 40 ya que, por debajo de 20 se trata de suelos no cohesivos, y por encima de 40 el comportamiento del suelo es deficiente ante la humedad a su vez es recomendable que el índice plástico sea menor a 20. Para averiguar la presencia de sales solubles se puede verter unas gotas de solución de ácido nítrico al 5%, de probarse burbujeo, ello indicará presencia de sales y hará conveniente profundizar en los ensayos de laboratorio, ya que la presencia de sal vuelve susceptible a la pulverización por desmoronamiento de nuestras unidades y este efecto incluso se ve agravado por la acción de la humedad.

Es también importante evitar la presencia de materia orgánica en el suelo seleccionado, puesto que esta incrementa en gran medida el encogimiento de los adobes y reduce su resistencia al generar vacíos gracias al proceso de descomposición. En muchas ocasiones se necesita utilizar como canteras terrenas de cultivo, con el riesgo de introducir materia orgánica; por ello, en caso de que se utilice tales terrenos, deberá retirarse previamente la capa superficial que contiene la materia orgánica y emplear las capas más profundas, situadas por lo menos a unos setenta centímetros de la superficie.

Es importante señalar que el comportamiento de un suelo suele depender en gran medida de su contenido en finos. Por ello puede ocurrir que suelos de igual granulometría presenten comportamientos muy diferentes. Lo dicho es una de las razones por la que se recomienda ensayar los suelos en estudio, elaborando adobes similares en forma y dimensiones. La observación de estos especímenes puede ser el método más eficaz para conocer la aptitud de un suelo para utilizarlo en la preparación de adobes y la bondad de una cantera. (Ing. Juan Bariola, s.f.)

#### 2.2.5.2. Paja

La utilización de paja es costumbre en la elaboración de las unidades de adobe y también en el mortero de asiento. Pero de acuerdo a investigaciones se comprobó que la paja reduce efectivamente las contracciones debidas al secado al aire libre de los adobes y también mejora su adherencia con otros materiales, con lo cual se consigue mejorar el conjunto de albañilería al incrementarse la adherencia entre el mortero y los revestimientos.

El uso de la paja está delimitado según la región de elaboración de unidades de adobe, ya que puede tratarse de distintos tipos como: de arroz, de trigo, grass común, bagazo de caña, ichu; en algunos lugares se usa guano, crines y productos similares. En todo caso

es recomendable utilizar paja picada en trozos de unos 10 cm y, de preferencia, en un porcentaje de alrededor del 1% en peso por unidad de adobe. Un porcentaje excesivo hace al barro poco trabajable y reduce la resistencia mecánica de los adobes.

En zonas costeras, se tiene un mayor control de la paja ya que esta suele facilitar la penetración de insectos, en particular avispa que anidan en el interior de los adobes, creando dentro de los mismos “túneles” de pequeño diámetro, que a la larga los debilitan.

Cuando se utiliza la paja en adobes mejorados con cal, su empleo puede ser mínimo ya que así se controlan y reducen las fisuraciones. Sin embargo, podría considerarse su empleo para mejorar la interacción mortero – adobe; en ese caso es muy importante tomar en cuenta que la paja debe introducirse al suelo hidratado después que este haya sido mezclado con la cal. De lo contrario la cal se adherirá en gran parte a la paja, impidiendo obtener los efectos estabilizantes que suministra este material.

## 2.2.6. Selección de tierras

### 2.2.6.1. Suelos apropiados

La tierra para fabricar adobes se recomienda que debe estar formada por 25 a 45% de limos y arcilla y el resto de arena. La proporción máxima de arcilla será de 15 al 17%. Característica importante es que la tierra no debe ser de cultivo.

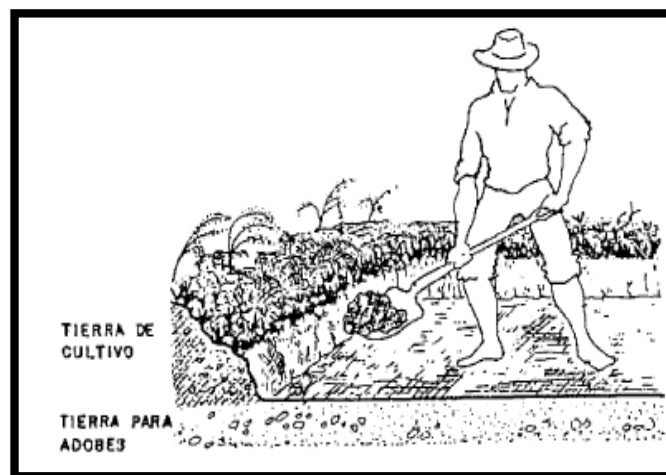


Figura 5 : Suelos apropiados para la fabricación de adobe

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)



Se puede identificar fácilmente las tierras inadecuadas por su color o sabor:

- Tierra con materia orgánica: color negruzco.
- Tierra salitrosa: blanquecino y sabor salado.

(Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.6.2. Pruebas de selección

Son las pruebas cuyo resultado nos dará a conocer la calidad de la tierra analizada y si es apropiada para la elaboración de adobes.

Ya seleccionada la cantera según los ensayos que se rigen a continuación, es recomendable antes de proceder a la elaboración masiva de unidades de adobes, fabricar adobes de prueba y efectuar el control de calidad.

##### 2.2.6.2.1. Prueba granulométrica (Prueba de la botella)

Esta prueba determina la proporción de los componentes principales que son la arena, limos y arcillas de la tierra.

- Para ello se deben seguir estos pasos planteados a continuación:
- Llenar con tierra tamizada (muestra que pase a través del tamiz No. 4) una botella de boca ancha de un litro de capacidad hasta la mitad de su altura.
- Llenar la parte restante con agua que se recomienda que sea de mesa pura.
- Agitar vigorosamente la botella hasta que todas las partículas de la tierra se encuentren en suspensión.
- Poner la botella sobre una mesa y esperar que todas las partículas de arena reposen al fondo. Las partículas de arena reposaran inmediatamente. Las partículas de limos y arcilla demoraran algunas horas, es por eso se recomienda dejar reposar por un periodo de 24 horas.
- Finalmente medir las capas para determinar la proporción de arena y limos con arcilla. Se recomienda que la cantidad de arena fluctúe entre 1.5 a 3 veces la cantidad de limos y arcillas. (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)



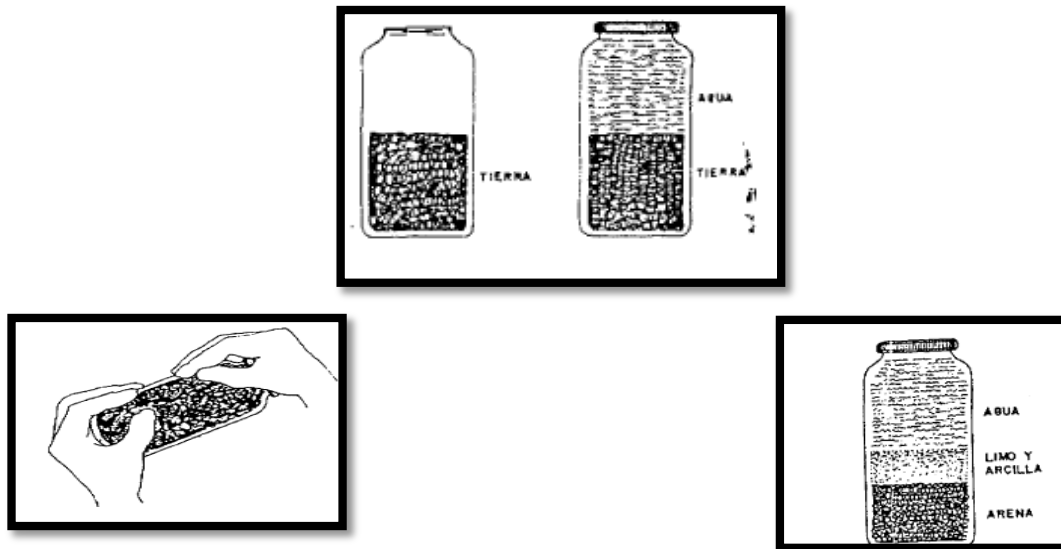


Figura 6 : Prueba granulométrica (Prueba de la botella)

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.6.2.2. Prueba de plasticidad

Sirve para determinar la calidad de la tierra y nos permite saber si esta es arcillosa, arenosa o arcillo arenosa,

Consiste en formar con tierra humedecida un rollo de 1.5 cm de diámetro, suspenderlo en el aire y medir la longitud del extremo que se rompe.

Para ello se presentan 3 casos:

- Tierra arenosa (inadecuada): cuando el rollo se rompe antes de alcanzar los 5cm.
- Tierra arcillo arenosa (adecuada): cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre 5 y 15 cm.
- Tierra arcillosa (inadecuada): cuando el rollo alcanza una longitud mayor de 15cm.

(Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.6.2.3. Prueba de resistencia

Consiste en amasar tierra húmeda y elaborar 5 discos de 3cm de diámetro por 1.5 cm de espesor. Dejarlos secar 48 horas al aire libre para luego tratar de romperlos.

Se presenta dos casos:

- Baja resistencia (inadecuada): cuando el disco se aplasta fácilmente.
- Media o alta resistencia (adecuada): cuando el disco se aplasta con dificultad o se rompe con un sonido seco.

(Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

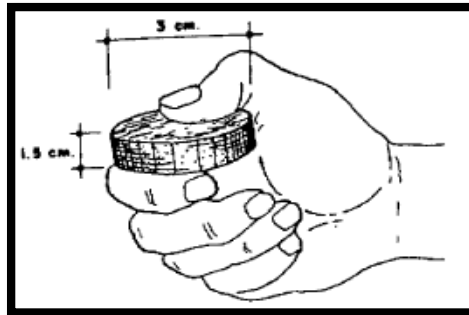


Figura 7 : Prueba de resistencia (Prueba de disco)

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

### 2.2.6.3. Límites de Atterberg

#### 2.2.5.3.1 Limite líquido

Este límite consiste en encontrar un porcentaje de humedad en el cual el suelo se comporta como un material plástico esto quiere decir que en este estado el suelo se permite resistir deformaciones rápidas, sin cambiar de volumen, sin agrietarse y sin desgastarse. En este punto el suelo está en un límite de humedad en el cual este cambiara su comportamiento al de un flujo viscoso. En síntesis, el límite líquido representa la frontera entre el estado semilíquido de un suelo y un estado plástico del mismo.

Para el procedimiento del ensayo se pulveriza una cantidad suficiente de suelo secado al aire para así obtener una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz N° 40 que sea alrededor de los 250 gramos. Posterior a ello se debe verificar la altura de la cuchara de casa grande ya que esta debe ser de un centímetro para ello el ranurador posee en su parte frontal posee una especie de dado el cual esta calibrado para este fin. Luego de la verificación se procede a poner un aproximado de 250 gramos de la muestra del suelo a una cápsula de porcelana en la cual se le añade una pequeña cantidad de agua para ser mezclada con el suelo hasta obtener un color uniforme en este. Luego a ello se procede a ejecutar una prueba en la cual se pone una muestra en forma llana sobre la cuchara de casa grande posterior a esto se le crea un corte con la ayuda del ranurador a la



mitad de la muestra. Una vez hecho esto se procede a dejar caer la cuchara mediante su manija a un promedio de 2 golpes por segundo para esta primera práctica la muestra debe cerrar su ranura en 12 mm en un aproximado de 40 golpes si la muestra cerrase en muchos más de los 40 se le debe añadir agua a la misma. Para la ejecución del ensayo se debe hacer que la muestra tenga su primer cierre entre los 25 y 30 golpes, luego entre los 20 y 25 golpes y por ultimo entre los 15 y 20 golpes. Por ultimo en función de los putos hallados se dibuja una gráfica de contenido de humedad contra el número de golpes resultantes para cerrar la ranura y así con la ayuda del grafico obtener el contenido de humedad a los 25 golpes que al final este vendría a ser el límite líquido. (Bowles, 1978)

#### 2.2.5.3.2 Limite plástico

Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el Suelo como material no plástico. En cuanto al ensayo este consiste en dividir en varios pedazos o pequeñas porciones la muestra estos deben ser aproximadente de 20g a 30g de suelo que previamente se habían separado durante la preparación de la muestra para límite líquido. Luego se enrolla el suelo con la mano extendida sobre una placa de vidrio esmerilada, con presión suficiente para crear una forma cilíndrica o de hilos de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 golpes o movimientos de mano por minuto (un golpe = movimiento hacia adelante y hacia atrás). Cuando el diámetro del hilo o cilindro de suelo llegue a 3 mm este se debe romper en pequeños pedazos alargados, y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse. El proceso de hacer bolas o masas de suelo y enrollarlas debe continuarse alternativamente hasta cuando el hilo o cilindro de suelo se rompa bajo la presión de enrollamiento y no permita que se enrolle adicionalmente, llegado a este punto es ahí que el ensayo para y se ponen los pequeños cilindros en cápsulas para averiguar su contenido de humedad gracias a un horno a 120°C de temperatura constante. (Bowles, 1978)

#### 2.2.6.4. Estabilización de suelos

La arcilla en presencia de la humedad experimenta cambios de volumen que son necesarios controlar, cuando tiene agua su volumen disminuye cuando se seca este aumenta. Este fenómeno origina la erosión de las unidades de adobes y, por lo tanto, la perdida de estabilidad y resistencia de los muros. (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)



#### 2.2.6.5. Granulometría

Este ensayo consiste en que una muestra de agregado seco, de masa conocida, sea separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

En cuanto a su procedimiento la muestra escogida previamente por cuarteo es sometida a un secado en temperaturas de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta obtener un peso constante de la misma. Posterior a ello se selecciona los tamices de abertura de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", Nro. 4, Nro. 8, Nro. 16, Nro. 30, Nro. 50, Nro. 100, Nro 200. y fondo. Luego de la selección se procede a poner una cantidad limitada material sobre los tamices utilizados de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación del tamizado. Ya puesta la muestra en la serie de tamices se procede a poner la serie de tamices en la tamizadora durante el promedio de 5 minutos una vez hecho esto se pesan los pesos retenidos en cada tamiz luego esta es procedimiento se repite para la parte faltante de la muestra cabe resaltar mencionar que se debe cuidar de que no debe haber una pérdida de más del 2% con respecto al peso original. Una vez acabado esto se procede a calcular en gabinete el porcentaje que pasa en cada tamiz para así obtener la curva granulométrica. (Norma Técnica Peruana, 2001)

#### 2.2.7. Fabricación del adobe

##### 2.2.7.1. Dimensionamiento del adobe

Ya que las dimensiones de las unidades de adobes son variadas, solo se es conveniente dictar algunas recomendaciones de carácter general.

- La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega, tanto las longitudes con el ancho tendrán una dimensión máxima de 40 cm.
- La altura no debe ser mayor de 10 cm en lo posible.
- La relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos.

Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada del adobe y las dimensiones más adecuadas para su fabricación son:

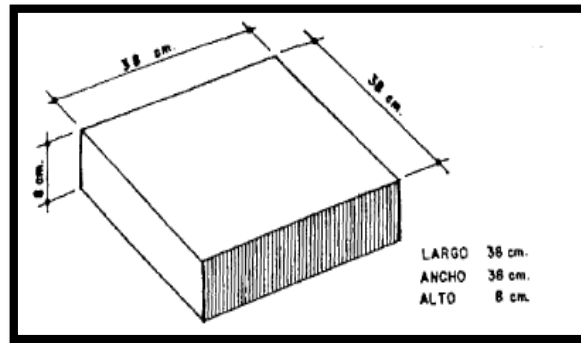


Figura 8 : Dimensiones del adobe.

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

Pues al añadir el mortero se adhiere a la junta con espesor promedio de 2 cm. Sus dimensiones finales de trabajo serian:

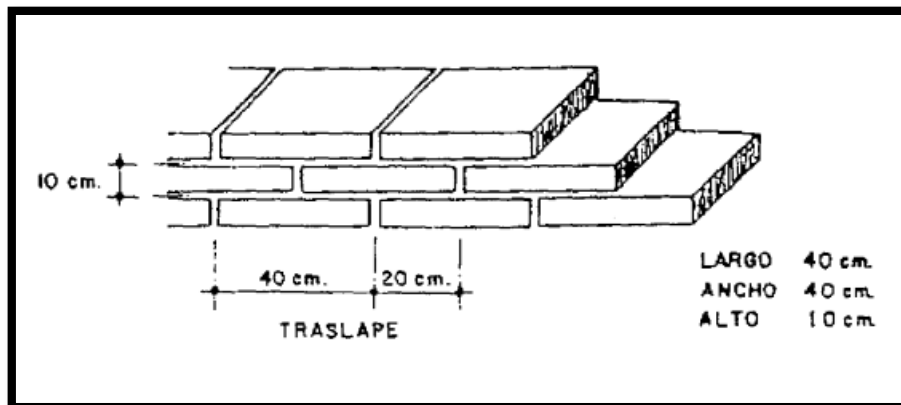


Figura 9 : Dimensiones con mortero

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.7.2. Preparación del barro

Se remoja el suelo y se retiran las piedras mayores de 5 mm u otros elementos extraños, posterior a esto se mantendrá el suelo en reposo húmedo durante 24 horas, lo cual facilitará el mezclado. (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.7.3. Mezclado

Agregar al barro la cantidad de agua necesaria y realizar el mezclado con lampas y rastrillos o con los pies, pisando y caminando energéticamente.

Agregar a la mezcla materias inertes compuestas de fibras de paja o pasto seco con una proporción de 1% por volumen de unidad de adobe.

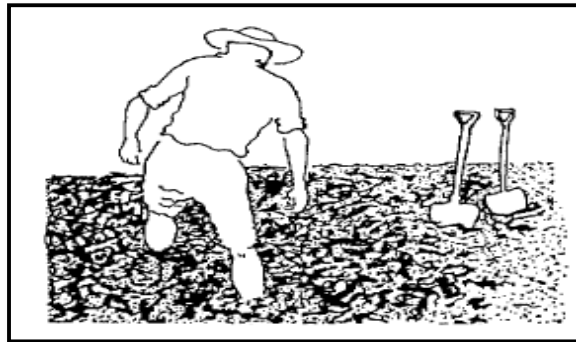


Figura 10 : Mezclado

Fuente: (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

Antes de realizar el moldeo, se recomienda verificar la humedad correcta de la mezcla mediante la siguiente prueba:

- Tomar un puñado de la mezcla y formar una bola.
- Dejarla caer al suelo desde una altura de un metro.

Si se rompe en pocos pedazos grandes, hay suficiente agua; si se aplasta sin romperse hay demasiada agua; y si se pulveriza en muchos pedazos pequeños, falta agua.

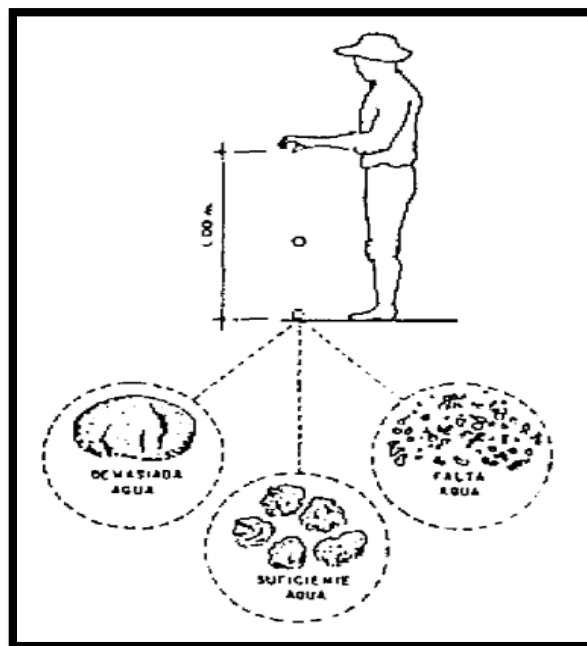


Figura 11 : Verificación de humedad correcta.

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.7.4. Moldeo

El moldeo puede ser tradicional, utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla en el molde directamente sobre el tendal, o también utilizando moldes con fondo, que permite producir adobes más uniformes, más resistentes y de mejor presentación.

Los moldes deben ser de madera cepillada de buena calidad, puede prolongarse su vida útil protegiendo los bordes con zuncho metálico.

Para la fabricación de los moldes debe considerarse el encogimiento de los moldes debe considerarse el encogimiento del adobe durante el secado, el cual puede determinarse con adobes de prueba, de tal manera que el adobe seco corresponda a las dimensiones previstas en el diseño. (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

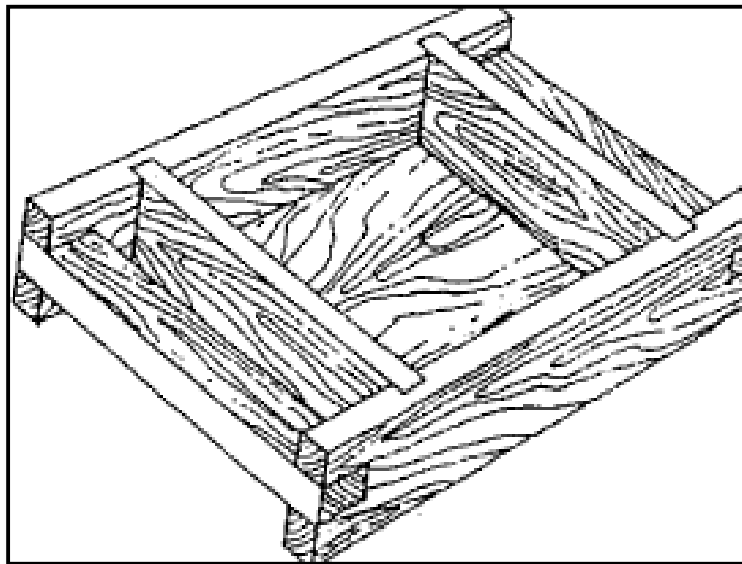


Figura 12 : Moldeo.

Fuente: (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

El moldeo se efectuará de la siguiente manera:

- Lavar el molde y esparcir arena fina seca en sus caras interiores antes de cada uso.
- Formar una bola con el barro y tirarla con fuerza al molde. Esta debe ser suficientemente grande para llenar toda la capacidad del molde, porque no deberán hacerse rellenos posteriores, además esta parte debe realizarse con cierta rapidez para evitar el pegado de la pasta de barro a las caras del molde.

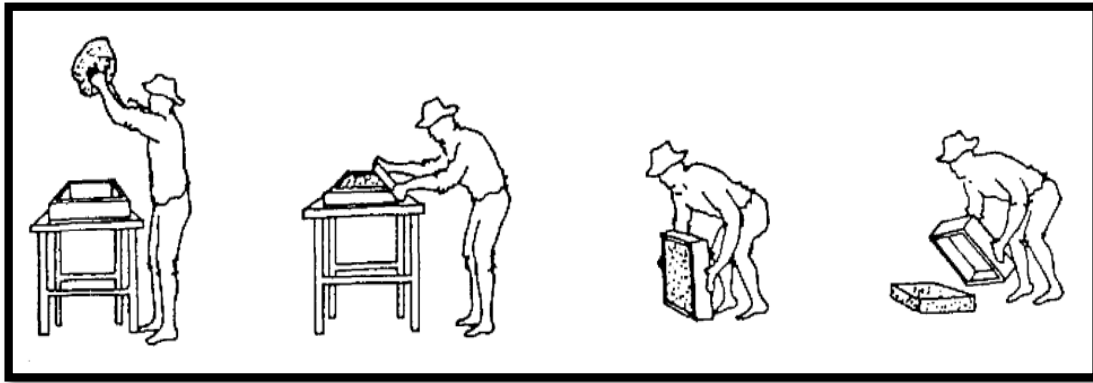


Figura 13 : Pasos del moldeo.

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

- Para cortar los excesos de mezcla y emparejar la superficie utilizar una regla de madera.
- Desmoldar con suaves sacudidas verticales.

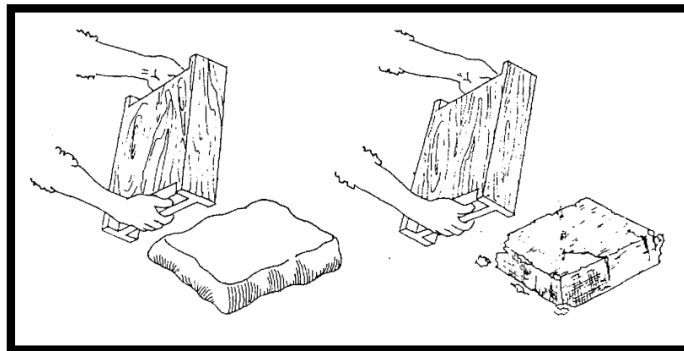


Figura 14 : Desmoldeo.

Fuente: (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.7.5. Secado y almacenamiento

Para el secado de las unidades de adobes, se debe utilizar una superficie horizontal, limpia y libre de impurezas orgánicas o sales. Este tendal deberá poder albergar la producción de una semana, y además tendrá que ser techado en épocas muy lluviosas.

Espolvorear arena fina sobre toda la superficie del tendal para evitar que se pequen los adobes.

Luego de tres días los adobes se podrán poner de canto y al cabo de una semana se deberán apilar. (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)



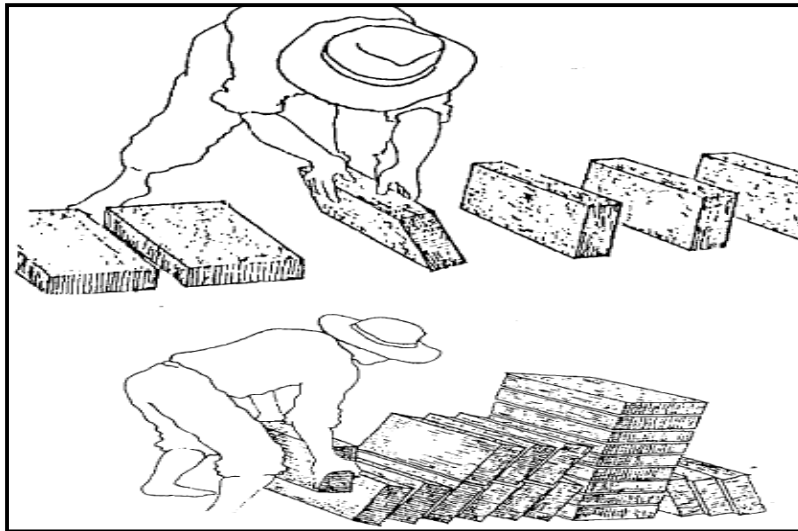


Figura 15 : Secado y almacenamiento.

Fuente: (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

#### 2.2.7.6. Control de calidad

Si a las cuatro semanas las unidades de adobe que son de prueba presenta grietas o deformaciones, se debe agregar paja a la pasta de barro. (Morales, Manual para Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

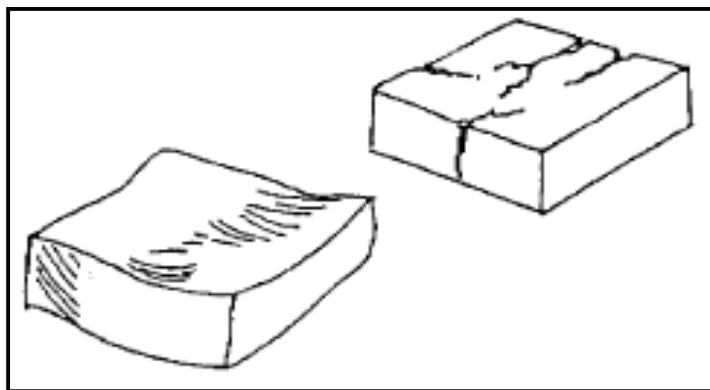


Figura 16 : Control de calidad (grietas)

Fuente: (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

Si a las cuatro semanas el adobe de prueba no resiste el peso de un hombre se debe agregar arcilla al barro.

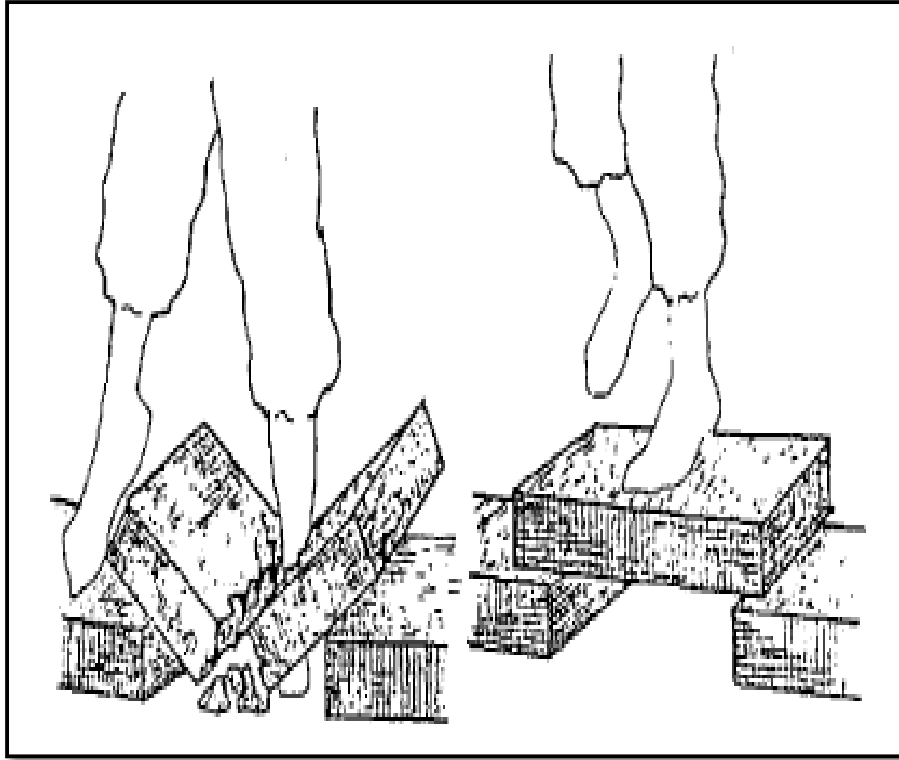


Figura 17 : Control de calidad (resistencia)

Fuente: (Morales, Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe, 2000)

## 2.2.8. Propiedades físicas de las unidades de adobe

### 2.2.8.1. Alabeo

Es la deformación entre las caras opuestas de una unidad de albañilería, están representadas por su concavidad que son espacios vacíos o su convexidad que son elevaciones sobresalientes, ambas en las caras lisas de la unidad. El efecto del alabeo es semejante en consecuencias al de la variación dimensional, porque produce el aumento o disminución en el espesor de las juntas de mortero, que influye en la resistencia a compresión y a fuerza cortante del conjunto de albañilería.

El mayor alabeo ya sea de concavidad o convexidad, de la unidad de albañilería conduce a un mayor espesor de la junta; asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad (Saenz Lulichac, 2015)



Figura 18 : Alabeo.

Fuente: (Seminario, 2013)

#### 2.2.8.2. Variación dimensional

La variación dimensional es la variación en longitudes que existe entre las caras opuestas de la unidad de albañilería ya sea en su ancho, largo y altura. Las dimensiones en términos generales son características geométricas que ninguna unidad de albañilería mantiene perfectamente. Existen pues, diferencias de largo, ancho y altura. El efecto de estas imperfecciones geométricas en la construcción de albañilería se manifiesta en la necesidad de hacer juntas de mortero mayores a las convenientes o en su caso opuesto juntas menores que reducen la cantidad ligante de mortero entre las unidades. (Lulichac Saenz, 2015)

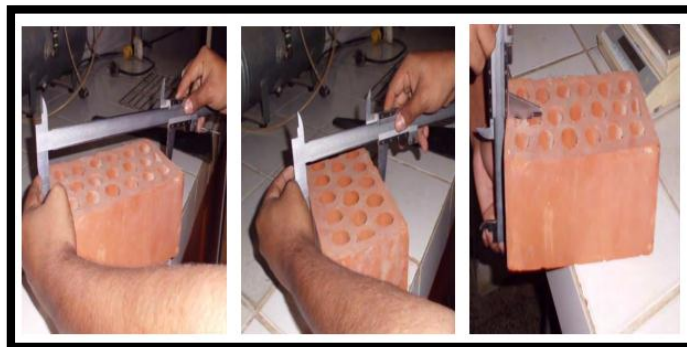


Figura 19 : Variación dimensional.

Fuente: (Seminario, 2013)



### 2.2.8.3. Succión

La succión es la medida de la avidéz de agua por parte de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es una de las características fundamentales para definir la relación mortero-unidad en la cara de contacto, y por lo tanto la resistencia a tracción de la albañilería.

Sea demostrado que con unidades que tienen una succión excesiva al momento del asentado este no se logra de la manera óptima. Cuando la succión es muy alta, el mortero, debido a la rápida pérdida del agua que es absorbida por la unidad, se deforma y endurece, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara de la unidad adyacente. El resultado es una adhesión podre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua.

Se considera que para succiones mayores de 40 gramos por minutos en un área de 200 cm<sup>2</sup> es requisito indispensable del proceso constructivo que las unidades se humedezcan previamente a su colocación, para así modificar la succión del asentado.

Se ha asumido que la succión define la capacidad de adhesión de la unidad con el mortero. Se supone, por ejemplo, que, al margen de la materia prima de la unidad, aquellas que tienen una succión entre 15 y 40 gramos logran la mayor adhesión con el mortero. (Gallegos, 2005)

### 2.2.8.4. Resistencia al desgaste por acción de lluvias

Es la capacidad de las unidades de albañilería, para poder resistir frente al efecto de las lluvias de manera prolongada sin alterar su capacidad de resistencia y su funcionalidad. (UNE 41410, 2008)

## 2.2.9. Pruebas de laboratorio

### 2.2.9.1. Ensayo de alabeo

Esta se mide con la ayuda de unas reglas metálicas perpendiculares a su vez también se recomienda el uso de una cuña graduada para la medición de la concavidad o convexidad. Sus resultados se expresan en milímetros. (Gallegos, 2005).

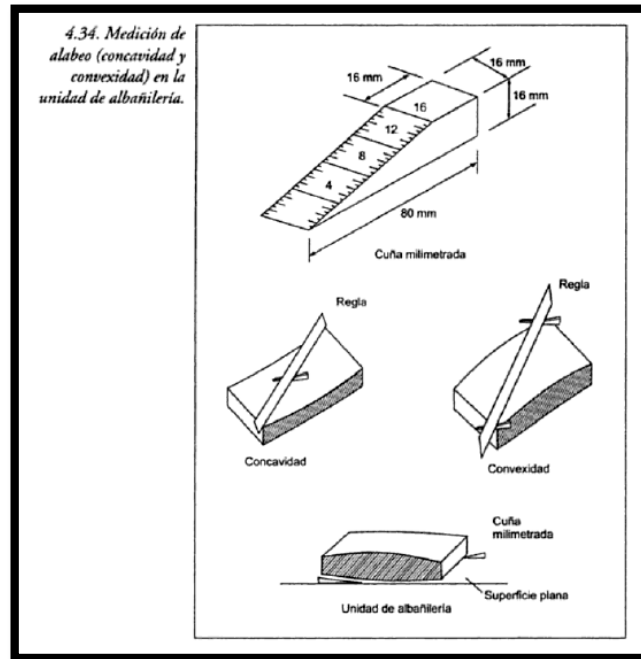


Figura 20 : Ensayo de alabeo.

Fuente: (Gallegos, 2005)

#### 2.2.9.2. Ensayo de variabilidad dimensional

La determinación de la variación de dimensiones es una definición de las dimensiones ajustadas a su promedio. Se efectuó sobre una muestra representativa y de por lo menos de seis unidades. Se midieron todas sus dimensiones con precisión al milímetro y se promediaron los resultados, obteniéndose los valores P (P1, P2 y P3).

Luego se separan las medidas para cada dimensión: de un lado las que son mayores que P y de otro las que son menores que P. luego se promedia cada grupo obteniéndose Pmin (P1min, P2min y P3min) y Pmax (P1max, P2max y P3max). Los resultados se expresan del modo siguiente:

Dimensiones promedio: P1 x P2 x P3

Variación en %:  $+V = ((P - P_{\min})/(P)) \times 100$  ;  $-V = ((P_{\min} - P)/(P)) \times 100$

(Gallegos, 2005)

### 2.2.9.3. Prueba de succión

El ensayo de succión emplea unidades previamente secadas al horno cuando se trata de ensayos de investigación, unidades en su estado natural y cuando se trata de ensayos para evaluar la succión para un proceso constructivo.

La disposición del ensayo se puede observar en la figura 21. El espécimen en su estado seco es pesado ( $P_s$ ), luego fue colocado sobre los soportes durante un minuto; luego se retira, se seca la superficie con un paño y se pesa ( $P_m$ ). La succión se obtiene:

$$\text{Succión} = ((P_m - P_s) \times 200)/A$$

Donde  $P_m$  y  $P_s$  son los pesos antes indicados en gramos y  $A$  es el área de contacto de la unidad con el agua en centímetros cuadrados. La succión se expresa gramos/200cm<sup>2</sup>/minuto o, simplemente también en gramos.

Cuando se desea efectuar este ensayo en obra se puede obviar la provisión de agua para mantener la inmersión constante de 3 mm de la unidad. Basta añadir una cantidad de agua suficiente para la inmersión inicial correcta, calibrada en un picnómetro, y después del término de un minuto de contacto de la unidad con el agua volverla a vaciar en el picnómetro. La diferencia de volumen en centímetros cúbicos a 200 cm<sup>2</sup> será la succión.

(Gallegos, 2005)

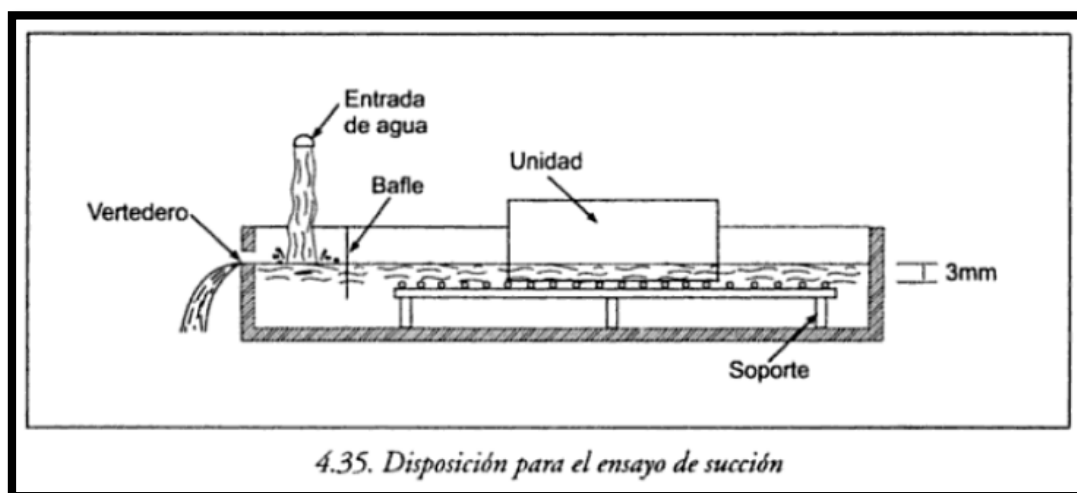


Figura 21 : Ensayo de succión.

Fuente: (Gallegos, 2005)

#### 2.2.9.4. Ensayo de erosión acelerada de Swinburne (SAET)

Para ello como mínimo se ensayarán dos bloques enteros seleccionados de manera aleatoria que previamente fueron secados en un periodo mínimo de 30 días antes del ensayo. Son estos bloques sometidos a una corriente de agua continua durante 10 minutos a través de un tubo de 5 mm. de diámetro que está conectado a un tanque de agua de nivel constante, a su vez el bloque mantendrá una inclinación de  $27^\circ$  respecto a la horizontal. Una vez culminado el ensayo se medirá la oquedad generada con una varilla de 3 mm. A continuación, se muestra el esquema a utilizar para la realización del ensayo:

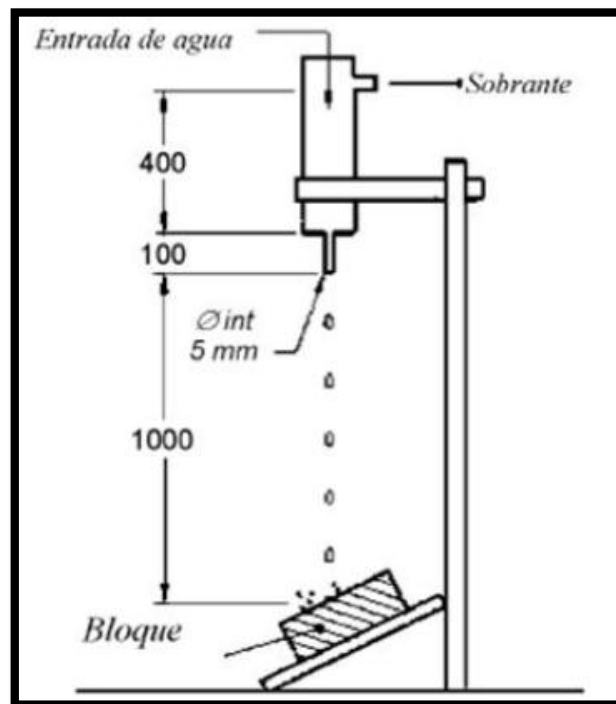


Figura 22 : Esquema para el ensayo de erosión acelerada (SAET).

Fuente: (UNE 41410, 2008)

#### 2.2.10. Propiedades mecánicas de las unidades de adobe

##### 2.2.10.1. Resistencia a la compresión de la unidad

La resistencia a la compresión de la unidad se determinará ensayando las unidades labradas cuya arista será igual a las de menor dimensión de la unidad de adobe.

El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtendrá en base al área de la sección transversal, debiéndose ensayar un mínimo de 6 unidades, definiéndose la resistencia última ( $f'_{o}$ ) como el valor que sobrepase en el 80% de las piezas ensayadas.

Los ensayos se harán utilizando piezas completamente secas, siendo el valor de  $f_o$  mínimo aceptable de 12 kg/cm<sup>2</sup>. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

#### 2.2.11. Pruebas de laboratorio

##### 2.2.11.1. Ensayo de resistencia a la compresión

Este ensayo permite obtener la resistencia a compresión de las unidades de adobe, la cual deberá ser por lo menos igual a 12 kg/cm<sup>2</sup>, según se especifica en la Norma E.080. Para este ensayo se utiliza una máquina de compresión axial.

La resistencia a la compresión ( $\sigma$ ) de cada espécimen, se obtiene dividiendo la carga de rotura (P) entre el área bruta (A). Con los resultados de cada espécimen se obtiene el valor promedio y se le resta una desviación estándar para obtener la resistencia característica a compresión  $f_b$ . (Ramirez Torres, 2012)



Figura 23 : Ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: (Ramirez Torres, Comportamiento Sísmico del Adobe Confinado: Variable Refuerzo Horizontal, 2012)

##### 2.2.11.2. Resistencia a la compresión de la albañilería

La resistencia a la compresión de la albañilería podrá determinarse por:

- a) Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usar en obra.

Las pilas estarán compuestas por el número entero de adobes necesarios para obtener un coeficiente de esbeltez (altura / espesor) del orden de aproximadamente tres (3), debiéndose tener especial cuidado en mantener su verticalidad.



El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días y el número mínimo de pilas a ensayar será de tres.

Mediante estos ensayos se obtiene el esfuerzo último  $f'm$  en compresión de la pila, considerándose aquel valor que sobrepasa en 2 de las 3 pilas ensayadas.

Es esfuerzo admisible a compresión del muro ( $f_m$ ) se obtendrá con la siguiente expresión:

$$f_m = 0.25 f'm$$

Donde:

$f'm$  = esfuerzo de compresión último de la pila

- b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible:

$$f_m = 2.0 \text{ kg / cm}^2$$

(E-080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017)

#### 2.2.11.2.1. Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento

El esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento será:  $1.25 f_m$ . (E-080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017)

#### 2.2.11.2.2. Diseño de muros longitudinales

La aplicación de la resistencia  $V_m$  se efectuará sobre el área transversal crítica de cada muro, descontando vanos si fuera el caso. (E-080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017)

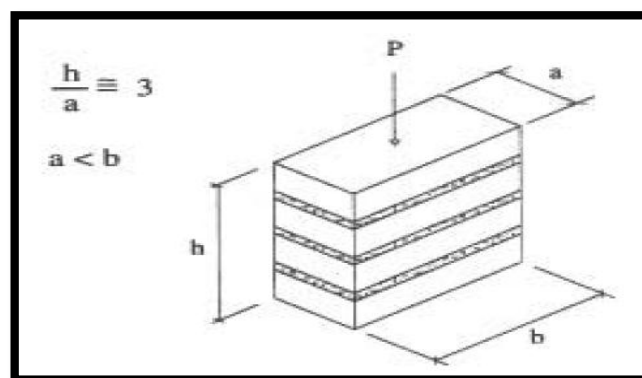


Figura 24 : Ensayo de compresión axial

Fuente: (E-080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017)



## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

Las unidades de adobe mejorado con material calcáreo presentan mejores propiedades físico - mecánicas frente a unidades de adobe elaboradas con procedimientos tradicionales.

### 2.3.2 Sub hipótesis

- a) Las unidades de adobe mejorado con material calcáreo presentan menor alabeo frente al adobe tradicional.
- b) Las unidades de adobe mejorado con material calcáreo presentan menor variación dimensional frente al adobe tradicional.
- c) Las unidades de adobe mejorado con material calcáreo presentan un menor índice de succión de agua frente a un adobe tradicional.
- d) Las unidades de adobe mejorado con material calcáreo presentan mejor comportamiento que las unidades de adobe tradicional frente al ensayo de erosión acelerada Swinburne.
- e) Las unidades de adobe mejorado con material calcáreo poseen mayor resistencia a la compresión frente a una unidad de adobe tradicional.
- f) Las pilas de adobe mejorado con material calcáreo poseen mayor resistencia a la compresión frente a una pila de adobe tradicional.

## 2.4 Definición de variables

### 2.4.1 Variables independientes

- Unidades de adobe elaboradas con procedimientos tradicionales.
- Porcentaje de material calcáreo por unidad de adobe.

#### 2.4.1.1 Indicadores de variables independientes

- Superficies cóncavas y convexas (mm.).
- Longitud (cm.).
- Peso (gr), Área (cm.).
- Profundidad de oquedad (mm.).
- Resistencia a la compresión de la unidad (kg/cm<sup>2</sup>).
- Resistencia a la compresión de la pila (kg/cm<sup>2</sup>).
- Unidad de adobe con material calcáreo al 15%.



- Unidad de adobe con material calcáreo al 20%.
- Unidad de adobe con material calcáreo al 25%.

#### 2.4.2 Variables dependientes

- Unidades de adobe mejorado con material calcáreo.

##### 2.4.2.1 Indicadores de variables dependientes

- Superficies cóncavas y convexas (mm.).
- Longitud (cm.).
- Peso (gr), Área (cm.).
- Profundidad de oquedad (mm.).
- Resistencia a la compresión de la unidad (kg/cm<sup>2</sup>).
- Resistencia a la compresión de la pila (kg/cm<sup>2</sup>).



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION					
VARIABLES INDEPENDIENTES					
TIPO	VARIABLE	DESCRIPCION	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTO
X1	Unidades de adobe elaboradas con procedimientos tradicionales	Unidades de adobe elaboradas de forma tradicional en el distrito de San Jerónimo (32 cm x 16cm x 8cm).	TIPO: Unidad de adobe.	Superficies cóncavas y convexas (milímetros).	NTP 399.613
				Longitud (cm)	NTP 399.613
				Peso (gr), Área (cm).	Norma Técnica E.070 Albañilería
				Profundidad de oquedad (mm).	UNE 41410
				Resistencia a la compresión de la unidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada
				Resistencia a la compresión de la pila (kg/cm <sup>2</sup> )	Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada
X2	Material calcáreo	Aditivo mejorador que sera añadido en diferentes porcentajes pre establecidos por unidad de adobe.	TIPO: Material calcáreo	Adición de material calcáreo a las unidades de adobe.	Material experimental
VARIABLES DEPENDIENTES					
TIPO	VARIABLE	DESCRIPCION	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTO
Y1	Unidades de adobe mejorado con material calcáreo	Unidades de adobe estabilizadas al 15%, 20% y 25% con material calcáreo, con dimensiones de 32 cm x 16cm x 8cm.	TIPO: Material calcáreo	Superficies cóncavas y convexas (milímetros).	NTP 399.613
				Longitud (cm)	NTP 399.613
				Peso (gr), Área (cm).	Norma Técnica E.070 Albañilería
				Profundidad de oquedad (mm).	UNE 41410
				Resistencia a la compresión de la unidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada
				Resistencia a la compresión de la pila (kg/cm <sup>2</sup> )	Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables

(Fuente: Elaboración propia, 2018)



### 3. Capítulo III: Metodología

#### 3.1. Metodología de la investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas para un tipo de investigación cuantitativa, ya que en base a cantidades y estadísticas probaremos las diferentes hipótesis propuestas para la investigación, así como también deduciremos los posibles resultados de nuestra investigación. (Sampieri, 2010)

##### 3.1.2. Nivel de la investigación

Este tipo de investigación reúne las condiciones para ser una investigación de nivel correlacional, ya que esta investigación recopiló información con el propósito de medir el grado de relación de las variables cuantificando y analizando dicha vinculación en hipótesis sometidas a prueba. (Sampieri, 2010)

##### 3.1.3. Método de la investigación

Método hipotético deductivo

El método usado es hipotético deductivo porque se planteó varias hipótesis las cuales se demuestran en base a procesos deductivos, que establecen relaciones con nuestras variables y los indicadores de nuestra investigación. (Sampieri, 2010)

#### 3.2. Diseño de la investigación

##### 3.2.1. Diseño metodológico

De acuerdo a (Hernández Sampieri, 2010) se considera el diseño **cuasi experimental**, porque al momento de realizar ensayos a los materiales y unidades de adobe, se presentan agentes externos no cuantificables, tales como la temperatura del ambiente, humedad, presión atmosférica, calibración de equipos utilizados para los ensayos, entre otros.

3.2.2. Diseño de ingeniería

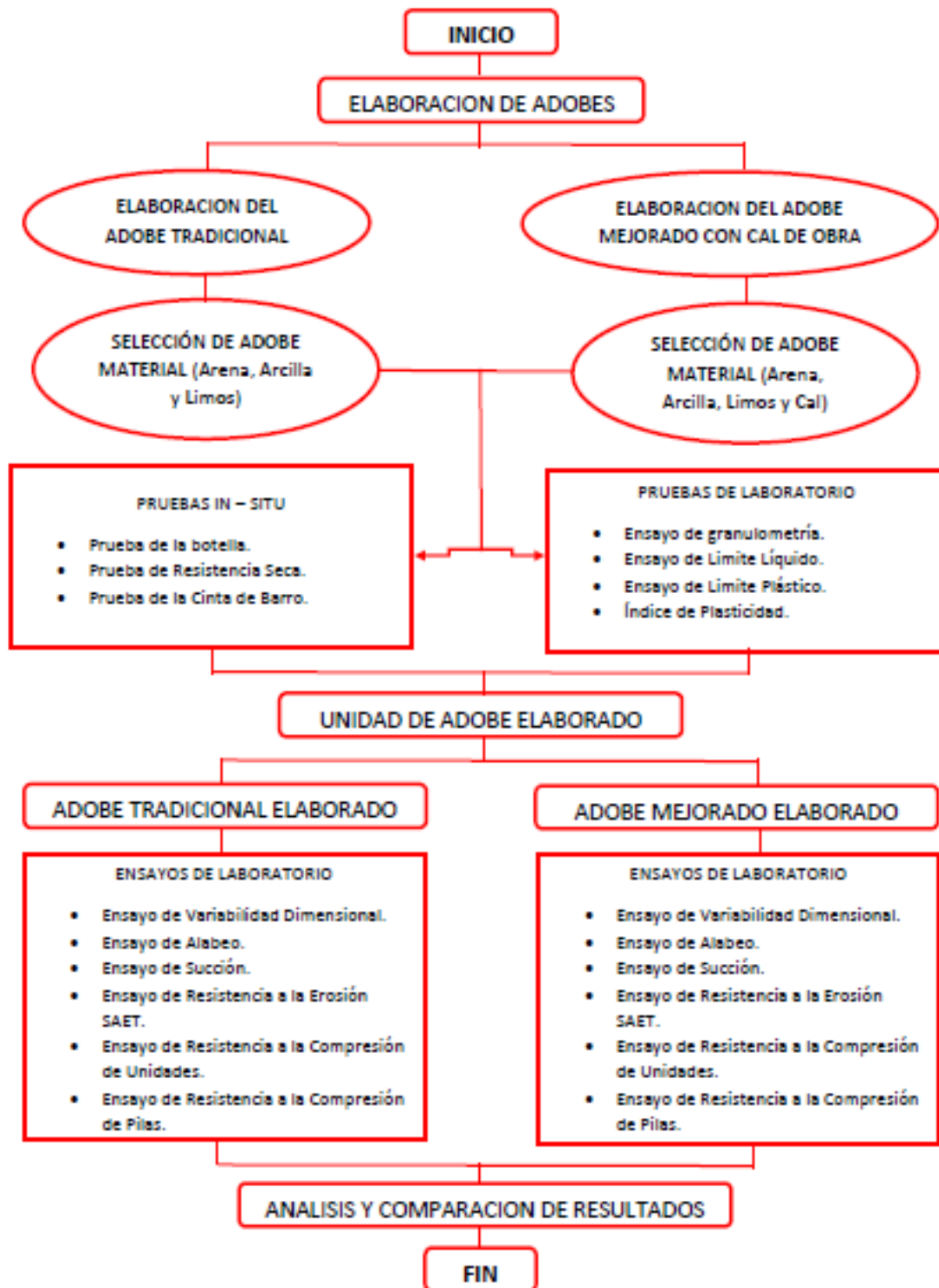


Figura 25 : Diseño de ingeniería

(Fuente: Elaboración propia, 2018)



### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

##### 3.3.1.1. Descripción de la población

La población está compuesta por las unidades de adobe tradicional y las unidades de adobe mejorado con material calcáreo elaboradas por los tesistas.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la población

Tomando como referencia las recomendaciones de la Norma Técnica Peruana E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada y Una Norma Española UNE 41410 Bloques de Tierra Comprimida para Muros y Tabiques. Se elaboraron 4 tipos de adobe, para lo cual se tuvo como resultado una población total de 144 especímenes.

#### 3.3.2. Muestra

##### 3.3.2.1. Descripción de la muestra

Las unidades de adobe fueron elaboradas con tierra del distrito de San Jerónimo teniendo en cuenta que cada unidad fue elaborada con un molde de dimensiones de largo 32 cm., de ancho 16 cm. y de alto 8 cm. Se elaboraron unidades de adobe tradicional y unidades de adobe mejorado con material calcáreo en porcentajes de 15%, 20% y 25% para lo cual se utilizó la cal de obra de la marca Martell.

##### 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La norma técnica peruana E-080 recomienda un mínimo de 6 especímenes por ensayo, para los ensayos de: alabeo, variación dimensional, succión y compresión de unidades; para el ensayo de compresión de pilas recomienda 3 especímenes, cada pila está comprendida por 3 unidades de adobe (uno encima de otro). La norma española UNE 41410 recomienda 2 especímenes como mínimo para el ensayo de erosión acelerada SAET, en esta investigación fueron ensayados 3 especímenes para el ensayo de erosión acelerada SAET.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas mencionadas se elaboraron 144 especímenes comprendidos por las pilas de adobe tradicional, pilas de adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%; las unidades de adobe tradicional (al 0% de material calcáreo) y las unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.



## 3.3.2.3. Método de muestreo

De acuerdo con (Hernández Sampieri, 2010) el método a seguir es No Probabilístico ya que la muestra y la población coinciden en valor numérico es decir los especímenes no serán seleccionados al azar de un grupo, sino que deben cumplir con criterios como la adición de material calcáreo al 0%, 15%, 20% y 25%.

## 3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

La Norma Técnica Peruana E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada recomienda ensayar seis especímenes como mínimo para el ensayo de resistencia a la compresión, tomando en cuenta esta recomendación se tomará la misma cantidad de especímenes para los ensayos de alabeo, variabilidad dimensional y succión, para las unidades de adobe tradicional, unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%; en el caso del ensayo de SAET se ensayaron tres especímenes y para el caso de resistencia a la compresión de pilas se utilizaron nueve especímenes por ensayo (tres especímenes por pila).

<b>TOTAL DE ESPECÍMENES A ENSAYAR</b>	<b>144</b>
---------------------------------------	------------

	<b>TOTAL DE ESPECÍMENES</b>
<b>ADOBE TRADICIONAL</b>	<b>36</b>
<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	<b>Nº DE ESPECÍMENES</b>
ALABEO	6
VARIABILIDAD DIMENSIONAL	6
SUCCIÓN	6
SAET	3
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES	6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS	9

	<b>TOTAL DE ESPECÍMENES</b>
<b>MEJORADO CON MATERIAL CALCÁREO AL 15%</b>	<b>36</b>
<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	<b>Nº DE ESPECÍMENES</b>
ALABEO	6





VARIABILIDAD DIMENSIONAL	6
SUCCIÓN	6
SAET	3
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES	6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS	9

	TOTAL DE ESPECÍMENES
<b>MEJORADO CON MATERIAL CALCAREO AL 20 %</b>	<b>36</b>
ALABEO	6
VARIABILIDAD DIMENSIONAL	6
SUCCIÓN	6
SAET	3
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES	6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS	9

	TOTAL DE ESPECÍMENES
<b>MEJORADO CON MATERIAL CALCAREO AL 25 %</b>	<b>36</b>
ALABEO	6
VARIABILIDAD DIMENSIONAL	6
SUCCIÓN	6
SAET	3
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES	6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS	9

Tabla 2: Cantidad de especímenes a ensayar

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.3.3. Criterios de inclusión

- Las unidades de adobe deben ser elaboradas con el material (suelo) de las adoberas del distrito de San Jerónimo - Cusco. Se considerarán las unidades de adobe tradicional de las adoberas ubicadas en el distrito de San Jerónimo, las cuales tienen como cantera excepcional los cerros próximos a Angostura perteneciente a la carretera Cusco – Paucartambo.
- Las unidades de adobe mejorado deberán ser adicionados con material calcáreo al 15%, 20% y 25% durante el proceso de elaboración.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA				
ALEXIS DAVID DIAZ FLORES				
FECHA:				
LUGAR:				
ENSAYO:	LIMITE LIQUIDO			
LIMITE LIQUIDO				
MUESTRA	1	2	3	
NUMERO DE GOLPES				
RECIPIENTE (Gr.)				
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (Gr.)				
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (Gr.)				
PESO DEL AGUA (Gr.)				
PESO DEL RECIPIENTE (Gr.)				
PESO DEL SUELO SECO (Gr.)				
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)				

Tabla 3: Tabla de recolección de datos para limite líquido  
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA			
ALEXIS DAVID DIAZ FLORES			
FECHA:			
LUGAR:			
ENSAYO:	LIMITE PLASTICO		
LIMITE PLÁSTICO			
MUESTRA	1	2	
RECIPIENTE (Gr.)			
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (Gr.)			
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (Gr.)			
PESO DEL AGUA (Gr.)			
PESO DEL RECIPIENTE (Gr.)			
PESO DEL SUELO SECO (Gr.)			
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)			

Tabla 4: Tabla de recolección de datos para limite plástico  
(Fuente: Elaboración propia, 2018)


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA					
ALEXIS DAVID DIAZ FLORES					
FECHA:					
LUGAR:					
ENSAYO: GRANULOMETRÍA					
GRANULOMETRÍA					
P1 (Gr.)				P2 (Gr.)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE DE PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(Gr.)	(%)	(%)	(%)
3/4"	19.05				
3/8"	9.5				
# 4	4.76				
# 8	2.38				
16	1.19				
30	0.59				
50	0.297				
100	0.149				
200	0.074				
FONDO					

Tabla 5: Tabla de recolección de datos para ensayo de granulometría

(Fuente: Elaboración propia, 2018)




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA												
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES												
FECHA:													
LUGAR:													
ENSAYO:	VARIABILIDAD DIMENSIONAL												
VARIABILIDAD DIMENSIONAL													
MUESTRA	LARGO (Cm)				ANCHO (Cm)				ALTURA (Cm)				ÁREA (PROMEDIO)
	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
	LARGO PROMEDIO (cm.)				ANCHO PROMEDIO (cm.)				ALTURA PROMEDIO (cm.)				
	LARGO MÍNIMO (cm.)				ANCHO MÍNIMO (cm.)				ALTURA MÍNIMA (cm.)				
	PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				

Tabla 6: Tabla de recolección de datos para ensayo de variabilidad dimensional

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA ALEXIS DAVID DIAZ FLORES				
FECHA:				
LUGAR:				
ENSAYO: ALABEO				
ALABEO				
ESPÉCIMEN	CARA A		CARA B	
	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
PROMEDIO (mm.)				
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm.)				
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm.)				
ALABEO PROMEDIO (mm.)				

Tabla 7: Tabla de recolección de datos para el ensayo de alabeo

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA ALEXIS DAVID DIAZ FLORES							
FECHA:							
LUGAR:							
ENSAYO: SUCCIÓN							
SUCCIÓN							
ESPÉCIMEN	PESO SECO (gr.)	LARGO (cm.)	ANCHO (cm.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIEMPO DE SUCCIÓN (min.)	PESO CON AGUA SUCCIONADA (gr.)	SUCCIÓN (gr./min./200cm <sup>2</sup> )
1							
2							
3							
4							
5							
6							
PROMEDIO							

Tabla 8: Tabla de recolección de datos para ensayo de succión

(Fuente: Elaboración propia, 2018)


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA				
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES				
FECHA:					
LUGAR:					
ENSAYO:	EROSION ACELERADA (SAET)				
EROSIÓN ACELERADA (SAET)					
ESPÉCIMEN	CAUDAL (ml/min.)	TIEMPO (MIN)	OQUEDAD (mm.)	RESISTENCIA	OBSERVACIONES
1					
2					
3					
4					
5					
6					
PROMEDIO					

Tabla 9: Tabla de recolección de datos para ensayo de SAET

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA		
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES		
FECHA:			
LUGAR:			
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA (Cm2)	Fo (Kg/Cm2)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
PROMEDIO			

Tabla 10: Tabla de recolección de datos para ensayo a la compresión de unidades

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA			
ALEXIS DAVID DIAZ FLORES			
FECHA:			
LUGAR:			
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS			
ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA (Kgf)	ÁREA (Cm <sup>2</sup> )	fm (Kg/Cm <sup>2</sup> )
1			
2			
3			
PROMEDIO			

Tabla 11: Tabla de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de pilas

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

#### 3.4.2. Instrumentos y equipos de laboratorio

- Cuchara de Casa Grande
- Balanza electrónica (5000 gr. / +/- 0.01 gr.)
- Varilla de 3 mm de diámetro
- Vidrio Esmerilado.
- Serie de tamices
- Vernier
- Regla metálica
- Bandejas
- Equipo de erosión acelerada (SAET)
- Máquina de compresión axial
- Lentes de seguridad
- Guantes de seguridad
- Nivel de mano
- Recipiente cilíndrico de vidrio de 2 litros
- Molde de madera para unidades de adobe; 32 cm x 16 cm x 8 cm.

### 3.5. Procedimiento de recolección de datos

#### 3.5.1. Fabricación de las unidades de adobe

##### 3.5.1.1. Adobe tradicional

##### 3.5.1.1.1. Equipos y materiales

- Materia prima, suelo utilizado para la elaboración de unidades de adobe.
- Agua
- Paja
- Molde de madera (32 cm x 16 cm x 8 cm)

##### 3.5.1.1.2. Procedimiento

- a. Se comenzó con la formación de la masa de barro lo cual consistió en la mezcla homogénea de la materia prima que es suelo con agua.
- b. Para que la masa de barro pueda mezclarse de manera uniforme se realizó el pisado de la misma.
- c. Posteriormente se realizó el “dormido” de la masa de barro, la cual consistió en dejarla reposar a la intemperie por un mínimo de 24 horas.
- d. Posterior al “dormido”, se procedió a colocar la pasta de barro al molde de madera y se retiró la masa sobrante, el molde de madera previamente fue sumergido en agua para que la masa no se adhiera a este.
- e. Finalmente, se procedió a dar forma según las características del molde y retirar dicho molde de abajo hacia arriba para que la unidad de adobe sea secada a la intemperie por lo menos una semana.



Figura 26 : Mezclado de la materia prima con agua (Masa de barro).



Figura 27 : Pisado de la mezcla de barro.





Figura 28 : Dormido de la mezcla de barro por un mínimo de un día.



Figura 29 : Mezcla de barro lista para moldear las unidades de adobe.



Figura 30 : Colocado de la masa de barro en el molde de madera.



Figura 31 : Compactación de la unidad y adición de paja.



Figura 32 : Desmoldado de adobe tradicional.



Figura 33 : Secado de las unidades de adobe tradicional.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.1.2. Adobe mejorado con material calcáreo

#### 3.5.1.2.1. Equipos y materiales

- Materia prima, suelo utilizado para la elaboración de unidades de adobe.
- Agua
- Paja
- Molde de madera

- Cal de obra

#### 3.5.1.2.2. Procedimiento

- Se realizó la misma elaboración de masa de barro que las unidades de adobe tradicional (hasta el ítem c. anterior)
- Posteriormente se extrajo la masa de barro previamente “dormida”. Para su adición de la cal de obra; para las unidades de adobe mejorado al 15% se añadió 0.825 kg. de cal de obra, para las unidades de adobe mejorado al 20% se añadió 1.100 kg. de cal de obra y para las unidades de adobe mejorado al 25% se añadió 1.375 kg. de cal de obra.
- Seguidamente se procedió a mezclar la masa de barro con la cal de obra hasta formar una masa uniforme para luego humedecer el interior del molde de madera.
- Finalmente se procedió a colocar la masa uniforme al molde de madera, se le dio forma de acuerdo al molde y se sacó el molde de abajo para arriba para que así proceda al secado a la intemperie de por lo menos 01 semana.



Figura 34 : Masa de barro lista para ser mezclada con cal de obra



Figura 35 : Adición de la cal de obra a la masa de barro



Figura 36 : Mezcla de la pasta de barro con cal de obra



Figura 37 : La mezcla debe realizarse hasta conseguir una pasta uniforme



Figura 38 : Se coloca la mezcla dentro del molde



Figura 39 : Compactacion de la mezcla



Figura 40 : Adobe mejorado con material calcáreo al 15%



Figura 41 : Adobe mejorado con material calcáreo al 20%



Figura 42 : Secado de adobe mejorado con material calcáreo al 25%



Figura 43 : Almacenado de las unidades adobe mejoradas con material calcáreo



Figura 44 : Adobe tradicional y adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%



Figura 45 : Posterior al secado se efectúa el control de calidad ante el peso de un hombre, en las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 15%.



Figura 46 : Posterior al secado se efectúa el control de calidad ante el peso de un hombre, en las unidades de adobe mejoradas con material calcáreo al 20%.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.2. Fabricación de las pilas de adobe

#### 3.5.2.1. Adobe tradicional y adobe mejorado con material calcáreo al 15%, 20% y 25%

##### 3.5.2.1.1. Equipos y materiales

- 09 unidades de adobe tradicional.
- 09 unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 15%.
- 09 unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 20%.
- 09 unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 25%.
- Nivel de mano.
- Pasta de barro, mezcla homogénea de suelo utilizado para la elaboración de unidades de adobe, con el agua.

##### 3.5.2.1.2. Procedimiento

- a. Primero se seleccionaron las unidades que poseían la menor concavidad posible para ser utilizadas en la elaboración de las pilas.
- b. Posterior a ello se comenzó la elaboración de las pilas seleccionando la mejor unidad como base.
- c. Posterior a ello se comenzó a sobreponer las unidades de adobe una sobre otra de tal manera que se dejó una junta de espesor de dos cm. entre cada una.
- d. Para finalizar las pilas fueron revisadas en cuanto a su verticalidad y sus otras dimensiones con la ayuda de un nivel de mano.



Figura 47 : Selección de las nueve unidades con menos irregularidades del adobe mejorado con material calcáreo al 25 %.



Figura 48 : Union de dos unidades de adobe mejorado con material calcáreo al 25% con junta de barro de dos cm. de espesor.



Figura 49 : Union de la segunda unidad con la tercera unidad de adobe mejorado con material calcáreo al 25% con junta de barro de dos cm. de espesor



Figura 50 : Comprobacion del nivel de la pila de adobe mejorado con material calcáreo al 25%.



Figura 51 : Secado al aire libre de las pilas de adobe tradicional y adobe mejorado don material calcáreo al 15%, 20% y 25%.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.3. Ensayos de conformidad

#### 3.5.3.1. Granulometría (prueba de la botella)

##### 3.5.3.1.1. Equipos y materiales:

- Botella de boca ancha (1 lt.).
- Materia prima, muestra del suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe.
- Wincha de mano.
- Agua

## 3.5.3.1.2. Procedimiento:

- a. Se comenzó llenando con tierra tamizada a través del tamiz n°4, una botella de boca ancha de 1 litro de capacidad hasta la mitad de su altura.
- b. Posteriormente se llenó la parte restante con agua limpia.
- c. Se agito vigorosamente la botella hasta que todas las partículas de la tierra se encuentren en suspensión.
- d. Se pone la botella sobre una mesa, y se esperó que todas las partículas de arena reposen al fondo estas reposaron casi de manera inmediata. Las partículas de limos y arcillas demoraron veinticuatro horas.
- e. Finalmente se midieron las capas formadas de arenas, y limos con arcilla. Se recomienda que la cantidad de arena fluctuó entre una proporción de 1.5 a 3 veces la cantidad de limos y arcilla.



Figura 52: Llenar la botella hasta la mitad con la muestra de suelo



Figura 53: Llenar con agua a una altura similar a la muestra de suelo en la botella y sacudir la botella hasta obtener una mezcla uniforme.

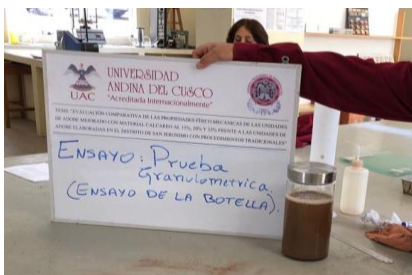


Figura 54: Dejar reposar durante 24 Horas.



Figura 55: Botella después de 24 horas.



Figura 56: Medición de cada capa de suelo en centímetros.

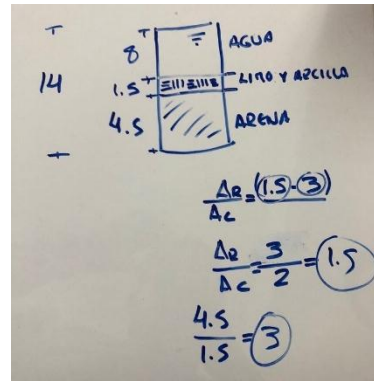


Figura 57: Grafico de las capas de suelo con sus medidas.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.3.2. Cinta de barro

#### 3.5.3.2.1. Equipos y materiales:

- Wincha de mano.
- Materia prima, muestra del suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe.
- Vidrio esmerilado.

#### 3.5.3.2.2. Procedimiento:

- a. Se formó con tierra humedecida un rollo de 1.5 cm. de diámetro
- b. Se aplastó con los dedos hasta formar una cinta de 4 mm
- c. Se suspendió la cinta en el aire y se midió la longitud del extremo que se rompe.
- d. Medir el extremo roto y comprobar los siguientes casos:
  - Arenosa (inadecuada): 0-5 cm.
  - Arcillo-arenosa (adecuada): 5-15 cm.
  - Arcillosa (inadecuada): 15 cm.





Figura 58: Cinta de barro suspendida de uno punto cinco centímetros de espesor.



Figura 59: Cinta de barro rota en un extremo de doce punto ocho centímetros de longitud.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.3.3. Presencia de arcilla o resistencia seca

#### 3.5.3.3.1. Equipos y materiales:

- Materia prima, muestra del suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe.
- Wincha

#### 3.5.3.3.2. Procedimiento:

- a. Se amasó tierra húmeda y se elaboró 5 discos de 3 cm. de diámetro y 2 cm. de altura.
- b. Se dejó secar por 48 horas.
- c. Finalmente se trató de romperlas, para luego evaluar los siguientes casos:
  - Baja resistencia (inadecuada): cuando el disco se aplasta fácilmente.
  - Media o alta resistencia (adecuada): Cuando la “bolita” se aplasta con dificultad, o se rompe con un sonido seco.



Figura 60: Verificación del diámetro de 3 cm. de los discos de barro.



Figura 61: Verificación de la altura de 2 cm. de los discos de barro.

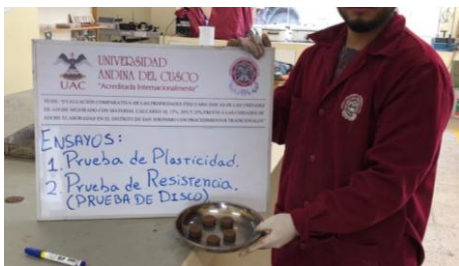


Figura 62: Se dejó secar los discos de barro por 48 horas.



Figura 63: Rotura de los discos de barro.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.4. Ensayos de laboratorio

#### 3.5.4.1. Muestreo del suelo

##### 3.5.4.1.1. Equipos y materiales:

- Materia prima, muestra del suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe
- Bandeja
- Espátula
- Recipiente
- Balanza electrónica (5000 gr. / +/- 0.01 gr.)

##### 3.5.4.1.2. Procedimiento:

- a. Se acumuló la muestra en un solo lugar haciendo un montículo, para posteriormente expandirla con la espátula en forma circular.

- b. Seguidamente se dividió el material diametralmente en cuatro partes de aproximación igual.
- c. Se consideró como muestra representativa las dos partes opuestas que presenten características semejantes, eliminando las otras dos restantes
- d. Posteriormente se juntó las partes elegidas, realizando el mismo procedimiento, hasta conseguir la cantidad de suelo necesario para poder realizar el ensayo.



Figura 64: Cuarteo de la muestra de suelo.



Figura 65: Muestras paralelas de características semejantes representativas de suelo.



Figura 66: Peso de la muestra representativa.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.5.4.1.3. Toma de datos:

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA REPRESENTATIVA (kg.)	5.004



Tabla 12: Toma de datos muestreo de suelo

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

## 3.5.4.2. Límites de Atterberg

## 3.5.4.2.1. Ensayo de límite líquido.

## 3.5.4.2.1.1. Equipos y materiales:

- Taras
- Espátula
- Cuchara de Casagrande
- Acanalador
- Muestra de suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe
- Probeta
- Balanza electrónica de sensibilidad de 0.1 gr.
- Tamiz #40
- Horno regulable a 110°C

## 3.5.4.2.1.2. Procedimiento:

- a. Se inició el ensayo preparando una pasta de suelo en la cápsula de porcelana con una humedad ligeramente superior al límite líquido.
- b. Se determinó el límite líquido con la cuchara de Casagrande (limpia y seca)
- c. Se colocó entre 50 y 70 gr. de suelo húmedo en la capsula, alisando la superficie a una altura de 1 cm. con la espátula
- d. Posterior a la muestra ya colocada se usó el acanalador para el separado de la misma en dos mitades según el eje de simetría de la capsula.
- e. Se giró la manivela de manera uniforme a una velocidad de 2 revoluciones por segundo: se continuó hasta que el surco se cierre en media pulgada de longitud.
- f. Se tomó una muestra de aproximadamente 5 gr. de suelo de la zona donde se cerró el surco para posteriormente realizar el pesado de la misma, para poder conocer su contenido de humedad.



Figura 67: Tamiz # 40.



Figura 68: Muestra húmeda en la cuchara de casagrande.



Figura 69: División de la muestra con el ranurador.



Figura 70: Separando la muestra con la ayuda del ranurador



Figura 71: Colocado al horno a 110°C durante 24 horas.



Figura 72: Se registro el peso seco de las muestras.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

## 3.5.4.2.1.3. Toma de datos


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA		
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES		
FECHA:	20/06/2018		
LUGAR:	Laboratorio UAC		
ENSAYO:	LIMITE LIQUIDO		
			
LIMITE LIQUIDO			
MUESTRA	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	35	26	18
RECIPIENTE (Gr.)	15.64	15.79	16.03
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (Gr.)	21.42	20.58	22.46
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (Gr.)	20.35	19.47	20.9
PESO DEL AGUA (Gr.)	1.07	1.11	1.56
PESO DEL RECIPIENTE (Gr.)	15.64	15.79	16.03
PESO DEL SUELO SECO (Gr.)	4.71	3.68	4.87
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)			

Tabla 13: Toma de datos de limite líquido

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

## 3.5.4.2.2. Ensayo de limite plástico

## 3.5.4.2.2.1. Equipos y materiales:

- Taras
- Placa de vidrio
- Espátula
- Muestra de suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe
- Probeta
- Balanza electrónica de sensibilidad 0.1 gr.
- Tamiz #40
- Horno regulable a 110° C

## 3.5.4.2.2.2. Procedimiento:

- a. Se utilizó una porción de material que queda del ensayo de límite líquido.

- b. Se cogió una porción de un volumen aproximado de  $1 \text{ cm}^3$  en forma esférica y se amaso sobre el vidrio con la palma de la mano hasta crear una forma cilíndrica de 3 mm. de diámetro se repitió esta parte de restregado para crear el cilindro hasta que se observaron unas grietas alargadas y pronunciadas, que indicaron que la muestra está lista para ser puestas en las taras de muestreo.
- c. Se realiza el mismo paso anterior para obtener una nueva muestra ya que se requiere como mínimo dos muestras para la realización del ensayo.
- d. Se pesó inmediatamente las dos muestras encapsuladas en cada tara previamente.
- e. Se llevó al horno por 24 horas para finalmente registrar el peso de las muestras secas.



Figura 73: Porcion de material restante de limite liquido.



Figura 74: Se realizaron los cilindros mediante un restregado de la muestra sobrante del limite liquido.



Figura 75: Fisuración de los cilindros de 3 mm de diámetro que indican que la muestra está lista.



Figura 76: Pesado de la muestras previo a su secado al horno.



Figura 77: Colocado al horno a 110°C durante 24 horas.



Figura 78: Registro del peso seco después de las 24 horas de secado al horno.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.5.4.2.2.3. Toma de datos:

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>		
<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA	
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES	
FECHA:	20/06/2018	
LUGAR:	Laboratorio UAC	
ENSAYO:	LIMITE PLASTICO	
<b>LIMITE PLÁSTICO</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
RECIPIENTE (Gr.)	LP-1	LP-2
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (Gr.)	19.37	18.85
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (Gr.)	18.82	18.39
PESO DEL AGUA (Gr.)	0.55	0.46
PESO DEL RECIPIENTE (Gr.)	15.91	16.08
PESO DEL SUELO SECO (Gr.)	2.91	2.31
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)		

Tabla 14: Toma de datos de limite plástico.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)



### 3.5.4.3. Ensayo de granulometría

#### 3.5.4.3.1. Equipos y materiales:

- Balanza de precisión (5000 gr. / +/- 0.01 gr.)
- Brocha
- Recipientes
- Tamices (3/4 ,3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200)
- Muestra de suelo usada en la elaboración de las unidades de adobe

#### 3.5.4.3.2. Procedimiento:

- a. Se seleccionó el grupo de tamices de acuerdo al suelo que se tiene, se colocó los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura. Se procedió con la operación de tamizado poniendo la muestra dentro de los mismos.
- b. Se procedió a colocar la serie de tamices en la maquina tamizadora a razón de dos minutos y medio por cada serie de tamices.
- c. Finalmente se pesó el material retenido en cada uno de los tamices.



Figura 79: Colocamos el material de muestra en la balanza de precisión.



Figura 80: Registramos el peso del material.



Figura 81: Procedimiento de zarandeo del material.



Figura 82: Se peso y resgistro, el material retenido en cada malla.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

## 3.5.4.3.3. Toma de datos:

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
RESPONSABLES: YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA					
ALEXIS DAVID DIAZ FLORES					
FECHA:	19/06/2018				
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS				
ENSAYO:	GRANULOMETRÍA				
GRANULOMETRÍA					
P1 (Gr.)			5004.4	P2 (Gr.)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE DE PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(Gr.)	(%)	(%)	(%)
3/4"	19.05	0.00			
3/8"	9.5	19.70			
# 4	4.76	624.50			
# 8	2.38	1203.20			
16	1.19	1108.20			
30	0.59	692.60			
50	0.297	506.30			
100	0.149	498.40			
200	0.074	234.40			
FONDO		111.23			

Tabla 15: Toma de datos granulometría

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

## 3.5.4.4. Ensayo de alabeo

## 3.5.4.4.1. Equipos y materiales

- Regla metálica 60 cm
- Escuadra
- Unidades de adobe tanto tradicionales y mejoradas con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.

## 3.5.4.4.2. Procedimiento

- a. Se eliminó con una brocha el polvo adherido a las unidades de adobe tradicionales como mejoradas con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.
- b. Se colocó una escuadra de forma longitudinal o transversal sobre las caras lisas más alargadas de las unidades de tanto de adobe tradicionales como mejoradas

con material calcáreo al 15%, 20% y 25%, adoptando la medida la cual es la mayor desviación de la línea recta.

- c. Se usó otra regla para medir la distancia entre la unidad de adobe y la regla metálica y registrarla como la distorsión (alabeo) de la superficie.



Figura 83: Medida de la concavidad de la cara “a” en milímetros.



Figura 84: Medida de la concavidad de la cara “b” en milímetros.



Figura 85: Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcáreo al 15%.



Figura 86: Unidades ensayadas de adobe mejorado con material calcáreo al 25%.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.5.4.4.3. Toma de datos

3.5.4.4.3.1. Unidad de adobe tradicional


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA			
	ALEXS DAVID DIAZ FLORES			
FECHA:	11/08/2018			
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS			
ENSAYO:	ALABEO			
ALABEO ADOBE TRADICIONAL				
ESPÉCIMEN	CARA A		CARA B	
	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)
1	6	-	6.5	-
2	7	-	6.5	-
3	5.5	-	5	-
4	9	-	8	-
5	6	-	5	-
6	5.5	-	5	-
PROMEDIO (mm.)				
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm.)				
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm.)				
ALABEO PROMEDIO (mm.)				

Tabla 16: Toma de datos alabeo – adobe tradicional

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.5.4.4.3.2. Unidad de adobe mejorado al 15%


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA			
	ALEXS DAVID DIAZ FLORES			
FECHA:	11/08/2018			
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS			
ENSAYO:	ALABEO			
ALABEO MEJORADO AL 15%				
ESPÉCIMEN	CARA A		CARA B	
	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)
1	3.5	-	5	-
2	5	-	6	-
3	4	-	3.5	-
4	4	-	4	-
5	6	-	3	-
6	4.5	-	5	-
PROMEDIO (mm.)				
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm.)				
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm.)				
ALABEO PROMEDIO (mm.)				

Tabla 17: Toma de datos alabeo – adobe mejorado al 15%

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.5.4.4.3.3. Unidad de adobe mejorado al 20%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA			
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES			
FECHA:	11/08/2018			
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS			
ENSAYO:	ALABEO			
ALABEO MEJORADO AL 20%				
ESPÉCIMEN	CARA A		CARA B	
	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)
1	3	-	2	-
2	2,5	-	4	-
3	3	-	4	-
4	4,5	-	3,5	-
5	5,5	-	4	-
6	3,5	-	3,5	-
PROMEDIO (mm.)				
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm.)				
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm.)				
ALABEO PROMEDIO (mm.)				

Tabla 18: Toma de datos alabeo – adobe mejorado al 20%

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.5.4.4.3.4. Unidad de adobe mejorado al 25%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA			
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES			
FECHA:	11/08/2018			
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS			
ENSAYO:	ALABEO			
ALABEO ADOBE MEJORADO AL 25%				
ESPÉCIMEN	CARA A		CARA B	
	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)	CÓNCAVO (mm.)	CONVEXO (mm.)
1	2	-	2,5	-
2	3	-	2,5	-
3	3	-	5	-
4	5	-	2,5	-
5	4	-	5,5	-
6	3,5	-	3,5	-
PROMEDIO (mm.)				
CONCAVIDAD PROMEDIO (mm.)				
CONVEXIDAD PROMEDIO (mm.)				
ALABEO PROMEDIO (mm.)				

Tabla 19: Toma de datos alabeo – adobe mejorado al 25%

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

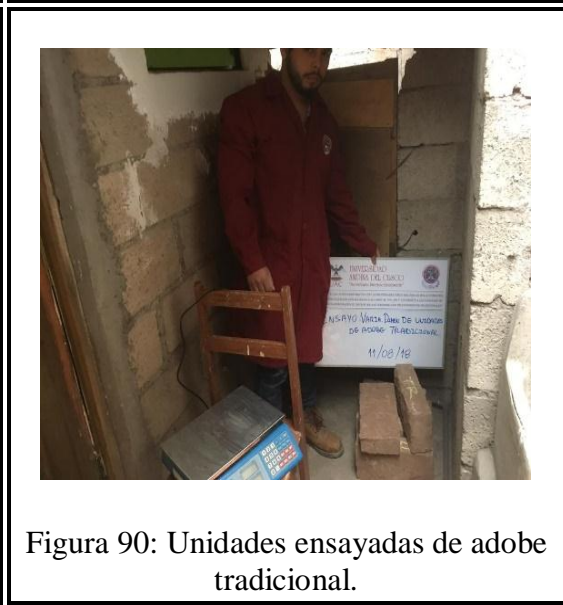
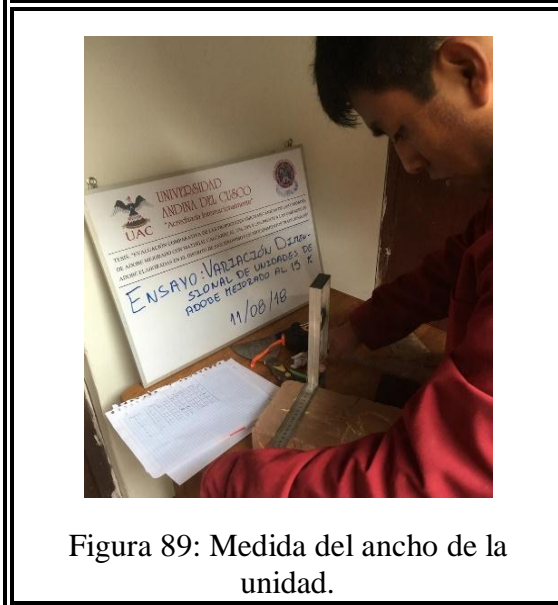
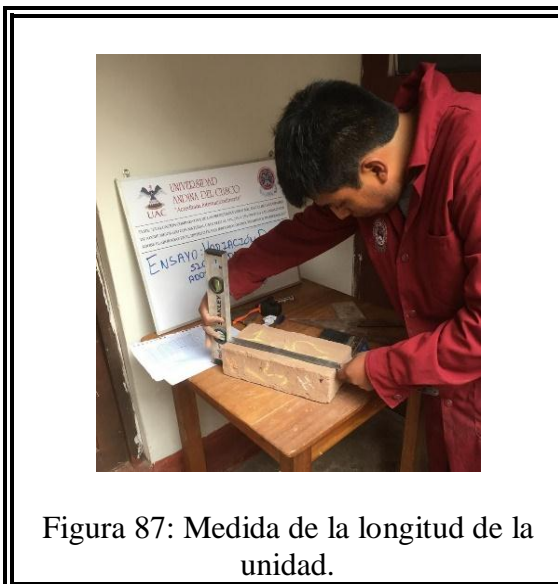
3.5.4.5. Ensayo de variabilidad dimensional

3.5.4.5.1. Equipos y materiales

- Regla metálica en centímetros.
- Unidades de adobe tanto tradicionales y mejoradas con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.

3.5.4.5.2. Procedimiento

a) Se midió 3 veces la longitud, ancho y altura de las unidades de adobe.





(Fuente: Elaboración propia, 2018)



3.5.4.5.3. Toma de datos

3.5.4.5.3.1. Unidad de adobe tradicional

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA												
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES												
FECHA:	11/08/2018												
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS												
ENSAYO:	VARIABILIDAD DIMENSIONAL												
VARIABILIDAD DIMENSIONAL ADOBE TRADICIONAL													
MUESTRA	LARGO (Cm)				ANCHO (Cm)				ALTURA (Cm)				ÁREA (PROMEDIO)
	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	
1	31.1	30.1	30.7		15.7	15.5	15.4		8.2	8	8.3		
2	30.6	30.8	30.9		15.2	15.3	15.5		8	8.1	8.1		
3	30.2	30.5	30.8		15.4	15.4	15.3		7.8	7.9	8.4		
4	30.5	30.4	31		15.5	15.6	15.8		7.9	7.5	7.4		
5	30.8	30.5	30.9		15.5	15.2	15.3		7.6	8.2	7.5		
6	30.4	29.9	30.3		15.2	15	15.4		7.7	7.3	7.2		
	LARGO PROMEDIO (cm.)				ANCHO PROMEDIO (cm.)				ALTURA PROMEDIO (cm.)				
	LARGO MÍNIMO (cm.)				ANCHO MÍNIMO (cm.)				ALTURA MÍNIMA (cm.)				
	PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				

Tabla 20: Toma de datos variabilidad dimensional adobe tradicional

(Fuente: Elaboración propia, 2018)





3.5.4.5.3.2. Unidad de adobe mejorado al 15%

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA												
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES												
FECHA:	11/08/2018												
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS												
ENSAYO:	VARIABILIDAD DIMENSIONAL												
VARIABILIDAD DIMENSIONAL ADOBE MEJORADO CON MATERIAL CALACAREO AL 15%													
MUESTRA	LARGO (Cm)				ANCHO (Cm)				ALTURA (Cm)				ÁREA (PROMEDIO)
	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	
1	30	30	30.1		15.1	15.2	15		7.5	7.8	7.7		
2	29.8	29.9	29.8		15	15.1	15		7.8	7.7	7.8		
3	30	30.1	30.2		15.3	15.2	15.1		7.8	7.9	7.8		
4	29.9	29.9	30		15	15.2	14.9		7.8	7.9	8		
5	30	30	29.8		15.1	15.2	15		8.2	8.1	8		
6	30	30	29.9		15.2	15.1	15.2		7.6	7.7	7.7		
	LARGO PROMEDIO (cm.)				ANCHO PROMEDIO (cm.)				ALTURA PROMEDIO (cm.)				
	LARGO MÍNIMO (cm.)				ANCHO MÍNIMO (cm.)				ALTURA MÍNIMA (cm.)				
	PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				

Tabla 21: Toma de datos variabilidad dimensional adobe mejorado al 15%

(Fuente: Elaboración propia, 2018)



3.5.4.5.3.3. Unidades de adobe mejorado al 20 %

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA												
	ALEXIS DAVID DIAZ FLORES												
FECHA:	11/08/2018												
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS												
ENSAYO:	VARIABILIDAD DIMENSIONAL												
VARIABILIDAD DIMENSIONAL ADOBE MEJORADO CON MATERIAL CALCAREO 20%													
MUESTRA	LARGO (Cm)				ANCHO (Cm)				ALTURA (Cm)				ÁREA (PROMEDIO)
	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	
1	30.3	30.1	30.2		15	15.2	15.2		8	8.1	7.9		
2	29.9	29.8	29.9		15.1	15.3	15		7.6	7.9	7.7		
3	29.9	29.8	30		15.3	15.3	15.2		7.7	8	7.8		
4	30.2	30.2	30.4		15.2	15	15.3		7.6	7.7	7.6		
5	30	30	30.3		15.2	15.2	15.1		7.9	8.1	7.8		
6	29.8	30	30.2		15.1	15.2	15.2		8	8.1	7.7		
	LARGO PROMEDIO (cm.)				ANCHO PROMEDIO (cm.)				ALTURA PROMEDIO (cm.)				
	LARGO MÍNIMO (cm.)				ANCHO MÍNIMO (cm.)				ALTURA MÍNIMA (cm.)				
	PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				

Tabla 22: Toma de datos variabilidad dimensional adobe mejorado al 20%

(Fuente: Elaboración propia, 2018)



3.5.4.5.3.4. Unidades de adobe mejorado al 25 %

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO														
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL														
RESPONSABLES:	YAMANDU WILLY POZO ZANABRIA ALEXIS DAVID DIAZ FLORES													
FECHA:	11/08/2018													
LUGAR:	LABORATORIO DE SUELOS													
ENSAYO:	VARIABILIDAD DIMENSIONAL													
VARIABILIDAD DIMENSIONAL ADOBE MEJORADO CON MATERIAL CALCAREO 25%														
MUESTRA	LARGO (Cm)				ANCHO (Cm)				ALTURA (Cm)				ÁREA (PROMEDIO)	
	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.	L1	L2	L3	PROM.		
1	30.8	30.8	30.9		15.5	15.5	15.4		6.9	7.1	7.2			
2	30.4	30.4	30.3		15.5	15.3	15.4		7.3	7.7	7.6			
3	30.3	30.1	30.3		15	15.1	15.2		7.4	7.8	7.7			
4	29.9	29.8	29.9		15.3	15.2	15.2		7.4	7.3	7.3			
5	30.3	30.2	30		15.1	15	15.2		7.7	7.9	7.8			
6	30	29.9	30.2		14.9	15.2	15.1		7.7	8.1	7.9			
	LARGO PROMEDIO (cm.)				ANCHO PROMEDIO (cm.)				ALTURA PROMEDIO (cm.)					
	LARGO MÍNIMO (cm.)				ANCHO MÍNIMO (cm.)				ALTURA MÍNIMA (cm.)					
	PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)				PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)					

Tabla 23: Toma de datos variabilidad dimensional adobe mejorado al 25%

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

### 3.5.4.6. Ensayo de succión

#### 3.5.4.6.1. Equipos y materiales:

- Bandeja
- Agua
- Balanza de precisión (5000 gr. / +/- 0.01 gr.)
- Unidades de adobe tanto tradicionales y mejoradas con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.

#### 3.5.4.6.2. Procedimiento:

- a. Se llenó una bandeja con agua que sobrepase 3 mm el área de contacto.
- b. Se registró el peso seco del espécimen.
- c. Se sometió a prueba de succión durante un minuto, a las unidades de adobe tanto tradicionales como mejoradas con material calcáreo al 15%, 20% y 25%.
- d. Se registró el peso de los especímenes sometidos a succión.



Figura 93: Se lleno las bandejas con agua hasta una altura de 3 mm de espejo.



Figura 94: Registramos el peso de la unidad seca.



Figura 95: Colocamos la unidad en la bandeja durante 1 minuto.



Figura 96: Registramos el peso de la unidad despues de ser sometido a succión.